

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص مختبرات كيميائية

أساسيات الكيمياء التحليلية
(عملي)

١٦٥كيم

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)** " لمتدربي تخصص " **مختبرات كيميائية** " في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

يحتوي الجزء العملي من مقرر أساسيات الكيمياء التحليلية على جزأين رئيسين : الجزء الأول يختص بالتحليل الكمي بقسميه الحجمي و الوزني والجزء الثاني يختص بالتحليل الوصفي أو الكيفي أو النوعي و يشتمل على الكشف عن كل من الشق الحمضي والقاعدي في المركبات البسيطة الصلبة أو في المخاليط فهو يقدم معظم التفاعلات المهمة لمعظم الكاتيونات و الآنيونات الشائعة ولقد روعي في هذا الجزء العملي إن يقدم للطالب شرحاً وافياً للأسس النظرية للتجارب المختلفة التي يقوم بها حتى يتمكن الطالب من إدراك أهمية هذه التجارب وعلاقتها بالدراسة النظرية .

الأهداف الرئيسية لهذه الحقيبة هي:

١. التدريب على إجراء تجارب في التحليل الحجمي و الحسابات الخاصة بالمعايرات.
٢. التدريب على إجراء تجارب في التحليل الوزني و الحسابات الخاصة به.
٣. التدريب على الكشف عن الكاتيونات و الآنيونات في المحاليل البسيطة أو المخاليط (التحليل النوعي).

و تشمل هذه الحقيبة الوحدات التالي:

الوحدة الأولى: معايرات الأحماض والقواعد.

الوحدة الثانية: معايرات الترسيب.

الوحدة الثالثة: معايرات الأكسدة والاختزال.

الوحدة الرابعة: معيرات المركبات المعقدة.

الوحدة الخامسة: التحليل الوزني.

الوحدة السادسة: الكشف عن الشقوق القاعدية (الكاتيونات).

الوحدة السابعة: الكشف عن الآنيونات (الشقوق الحمضية).

يشتمل على الكشف عن المجموعات التالية من الآنيونات:

١. الكشف عن آنيونات المجموعة الفرعية (أ-١) وتسمى مجموعة حمض الهيدروكلوريك المخفف .
٢. الكشف عن آنيونات المجموعة الفرعية (أ-٢) وتسمى مجموعة حمض الكبريتيك المركز .
٣. الكشف عن آنيونات المجموعة الفرعية (ب).

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

معايرات الأحماض و القواعد

الجدارة:

أن يكون الطالب قادراً على تنفيذ تجارب الأحماض و القواعد.

الأهداف:

بعد الانتهاء من هذه الوحدة التدريبية يكون الطالب قادرا على:

١. تعيين مولارية هيدروكسيد الصوديوم.
٢. تعيين مولارية حمض الهيدروكلوريك.
٣. تعيين مولارية كربونات الصوديوم و بيكربونات الصوديوم في خليط.
٤. تطبيق حسابات المعايرة و استنتاج تركيز المجهول.

الوقت المتوقع:

٤ ساعات.

متطلبات الجدارة:

١. مقرر "نظم وتقنيات مختبرية".
٢. مقرر "الأمان والسلامة في المختبرات الكيميائية".
٣. مقرر "الكيمياء العامة".

معايرات الأحماض والقواعد

١. الخلفية النظرية:

قبل البدء بتقدير تركيز الأحماض أو القواعد يتعين الحصول على محاليل قياسية لها لا يمكن استخدام الأحماض والقواعد الشائعة بشكل مباشر لتحضير محاليل قياسية لأنها متغيرة التركيب للأسباب التالية:

١. حامض الهيدروكلوريك: يتطاير في التركيز العالية.

٢. حامض الكبريتيك: يمتص الماء لكنه لا يصبح رطباً.

٣. حامض النتريك: متطاير وعرضه للتفكك.

علاوة على ذلك فإن الأحماض المسماة بالأحماض المعدنية النقية ليست مواد نقية حيث أنها تحتوي على كميات متفاوتة من الماء.

هيدروكسيدات الصوديوم و البوتاسيوم: تمتص الرطوبة وتصبح رطبة ، تتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء:

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

هيدروكسيد الكالسيوم: لا تذوب بشكل كامل كما أنها تتفاعل مع ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

الأمونيا: متطاير وهو محلول متغير التركيز.

١ ـ ١ خواص المادة القياسية الأولية:

هي المادة التي يعد محلولها بالوزن المباشر للمادة نفسها ثم إذابتها في محلول معلوم من المذيب و الشروط الواجب توافرها للمادة القياسية الأولية هي:

١. تكون ذات درجة عالية من النقاء.

٢. أن تكون مستقرة غير متأثرة بالهواء الجوي .

٣. أن تكون قادرة على التفاعل كمياً مع المادة المراد تقديرها.
٤. قابلة للذوبان في المذيبات المختلفة.
٥. أن تكون سهلة التجفيف والوزن.
٦. أن تكون ذات وزن جزيئي كبير لتقليل نسبة الخطأ في عملية الوزن.

١ - ٢ تقييس الأحماض:

لتقييس الأحماض يمكن استخدام المواد الشائعة التالية:

١. كربونات الصوديوم النقية. تحضر بتسخين كربونات الصوديوم الهيدروجينية أو كربونات الصوديوم اللامائية.
٢. البوراكس $Na_2B_4O_7.10H_2O$ (ميتا بورات الصوديوم).
٣. كربونات الكالسيوم النقية.

١ - ٣ تقييس القواعد:

يمكن تقييس المحاليل القاعدية باستخدام الأحماض العضوية المتبلورة الصلبة مثل حامض الأوكساليك أو حامض السكسنيك والتي يمكن الحصول عليها بدرجة عالية من النقاوة.

١ - ٤ نظرية الأدلة:

معظم الأدلة المستخدمة في معايرات الأحماض والقواعد هي عبارة عن أحماض ضعيفة حيث أن درجة تفككها تتأثر بشكل كبير جداً بتغير تركيز أيون الهيدروجين في المحلول مؤدياً ذلك إلى التغير في اللون، على سبيل المثال الفينولفثالين حامض عضوي ضعيف جداً HA حيث أنه يتفكك إلى أيون الهيدروجين وأيون سالب الشحنة:

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

عديم اللون   وردي

فعند إضافة محلول حمضي فإن تركيز أيون الهيدروجين الناتج من الحمض كبير جداً بالمقارنة بتركيز H الناتج من تفكك الدليل وهذا يؤدي إلى تنبيط (تقليل) تفكك الدليل لذا فإن الدليل سوف لن يتأين ولن يلاحظ لون عند إضافة محلول قلوي فإن أيونات الهيدروجين الناتجة من الدليل تتفاعل مع بعض أيونات الهيدروكسيل لتكوين الماء وبالتالي سوف يزداد تفكك الحامض الضعيف ويصاحب ذلك زيادة في ايونات A الملونة والتي تجعل المحلول وردياً، إن التغيرات في اللون هذه تحدث عند تركيزات مختلفة مع الأدلة المختلفة.

فيما يلي قائمة لبعض الأدلة الشائعة الاستعمال مع مدى pH الذي تحدث خلاله التغيرات في اللون:

تغير اللون		الدليل	مدى pH
القاعدة	الحامض		
أصفر	أحمر	الميثيل البرتقالي	3- 4.4
أصفر	أحمر	الميثيل الأحمر	4.4-6.3
أزرق	أصفر	برمو ثايمول الأزرق	6-7.6
أزرق	أحمر	تباع الشمس	6-8
أحمر	عديم اللون	فينولفثالين	8.2-10

١ ـ ٤ ـ ١ خواص الدليل المناسب:

١. يجب أن يكون التغير في لون الدليل واضحاً ، بعبارة أخرى يجب أن يكون الدليل حساساً، وهذا يعني عدم صلاحية الدليل إذا كان التغير في اللون يحتاج إلى 2 أو 3 مل من الكاشف.

٢. يجب أن يكون مدى pH والذي يحدث خلاله التغير في اللون دالاً على تمام التفاعل.

التجربة رقم (١): تعيين مولارية هيدروكسيد الصوديوم

١. مقدمة:

يتفاعل حمض الهيدروكلوريك مع هيدروكسيد الصوديوم طبقاً للمعادلة التالية:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

ونظراً لأن كلاً من الحمض والقاعدة المذكورين قويان فإنه يمكن استخدام أي دليل يمكن استعماله في هذه الحالة (المثيل البرتقالي أو الفينولفثالين).

٢. السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة:

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette.
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers.
٦. قمع Funnel.
٧. محلول قياسي من حمض الهيدروكلوريك Hydrochloric acid, HCl.
٨. محلول هيدروكسيد الصوديوم Sodium hydroxide مجهول التركيز.
٩. دليل فينولفثالين Phenolphtalein Indicator.

٤. خطوات التجربة:

١. تملأ السحاحة بمحلول حمض الهيدروكلوريك و تأخذ القراءة الابتدائية للسحاحة.
٢. يؤخذ ١٠ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم بواسطة ماصة و ينقل بعناية إلى دورق مخروطي.
٣. تضاف قطرة أو قطرتين من دليل الفينولفثالين إلى محلول هيدروكسيد الصوديوم.
٤. يضاف محلول HCl تدريجيا إلى محلول NaOH مع تحريك محتويات الدورق في شكل دائري.

٥. عند اقتراب نقطة النهاية يضاف HCl قطرة قطرة حتى يتغير لون الدليل من أحمر وردي إلى عديم اللون. و تؤخذ القراءة النهائية للسحاحة.

٦. تعاد الخطوات (١ ـ ٥) ٣ مرات و يؤخذ متوسط الحجم.

التجربة رقم (٢): تعيين مولارية حمض الهيدروكلوريك

١. مقدمة:

تتفاعل كربونات الصوديوم مع الأحماض القوية على مرحلتين كما يلي:

$$Na_2CO_3 + HCl \rightarrow NaHCO_3 + NaCl \quad (1)$$

$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2 \quad (2)$$

عند نقطة التكافؤ في المرحلة (١) يكون الرقم الهيدروجيني يساوي ٨,٣ لذا يمكن استخدام دليل الفينولفثالين لتعيين هذه المرحلة ، أما في المرحلة (٢) حيث يكون الرقم الهيدروجيني يساوي ٣,٨ فلا يمكن استخدام الفينولفثالين بل يجب استخدام الميثيل البرتقالي.

في هذه التجربة يستخدم الميثيل البرتقالي لوحده ، لذا فإن معادلة التفاعل ما بين حمض الهيدروكلوريك و كربونات الصوديوم تكون كالتالي:

$$2HCl + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaCl + CO_2 + H_2O$$

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة:

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers.
٦. قمع Funnel.
٧. محلول قياسي من كربونات الصوديوم.
٨. دليل الميثيل البرتقالي Methyl orange Indicator.

٤. خطوات التجربة :

١. تملأ السحاحة بمحلول حمض الهيدروكلوريك و تأخذ القراءة الابتدائية للسحاحة
٢. يؤخذ ١٠ مل من محلول كربونات الصوديوم القياسي بواسطة ماصة و ينقل بعناية إلى دورق مخروطي
٣. تضاف قطرة أو قطرتين من دليل الميثيل البرتقالي إلى محلول كربونات الصوديوم في الدورق
٤. يضاف محلول حمض الهيدروكلوريك تدريجيا إلى محلول كربونات الصوديوم مع تحريك الدورق في شكل دائري
٥. عند اقتراب نقطة النهاية يضاف الحمض قطرة قطرة حتى يتغير لون الدليل من أصفر إلى أحمر. و تؤخذ القراءة النهائية للسحاحة.
٦. تعاد الخطوات (١ ـ ٥) ٣ مرات و يؤخذ متوسط الحجم.

التجربة رقم (٣): تعيين مولارية كربونات الصوديوم و بيكربونات الصوديوم

١. مقدمة:

عند إضافة حمض الهيدروكلوريك إلى محلول الخليط في وجود الفينولفثالين فإن التغير في اللون يحدث عندما تتحول الكربونات إلى البيكربونات لذا فإن كمية الحامض المضافة تكافئ نصف الكربونات عندما يضاف بعد ذلك الميثيل البرتقالي إلى نفس المحلول فإن التغير في اللون يحدث عندما يتحول النصف المتبقي من الكربونات (البيكربونات المتكونة) و البيكربونات الأصلية إلى الكلوريد، لذا فإن:

V_1 = حجم الحامض المستخدم في الخطوة الأولى (الفينولفثالين).

V_2 = حجم الحامض المستخدم في الخطوة الثانية (الميثيل البرتقالي).

$2V_1$ = حجم الحامض المكافئ للكربونات.

$V_2 - V_1$ = حجم الحامض المكافئ للبيكربونات.

معادلات التفاعل:

$$Na_2CO_3 + HCl \rightarrow NaHCO_3 + NaCl$$
$$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + CO_2 + H_2O$$

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة:

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette.
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers.
٦. قمع Funnel.

٧. محلول قياسي من حمض الهيدروكلوريك خليط من كربونات الصوديوم و بيكربونات الصوديوم مجهول التركيز.

٨. دليل الميثيل البرتقالي Methyl orange Indicator.

٤. خطوات التجربة :

١. تملأ السحاحة بمحلول حمض الهيدروكلوريك و تأخذ القراءة الابتدائية للسحاحة.

٢. تخذ ١٠ مل من خليط الكربونات و البيكربونات بواسطة ماصة إلى دورق مخروطي.

٣. تضاف قطرة أو قطرتين من دليل الفينولفثالين إلى محلول الخليط في الدورق.

٤. يضاف حمض الهيدروكلوريك تدريجيا إلى محلول الخليط مع تحريك محتويات الدورق في شكل دائري.

٥. عند اقتراب نقطة التعادل يضاف الحمض قطرة قطرة حتى يتغير لون الدليل من بنفسجي إلى عديم اللون ثم تأخذ القراءة النهائية V_1.

٦. يضاف قطرة أو قطرتين من دليل المثيل البرتقالي لنفس محتويات الدورق المخروطي و تسجل القراءة الابتدائية للمعايرة الجديدة.

٧. يستمر في إضافة حمض الهيدروكلوريك حتى يتغير لون الدليل من أصفر إلى أحمر تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل القراءة النهائية V_2.

٨. تعاد الخطوات من ١ إلى ٧ ثلاثة مرات.

٩. يؤخذ معدل حجم القياسات الثلاث للدليلين كل على حده.

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. أذكر أسباب تغير التركيب في المواد الآتية:

أ. حمض الهيدروكلوريك.

ب. حمض النتريك.

ج. حمض الكبريتيك.

د. هيدروكسيد الصوديوم و هيدروكسيد البوتاسيوم.

هـ . هيدروكسيد الكالسيوم.

و. الأمونيا.

٢. حضر محلول بإذابة 4 جرام من هيدروكسيد الصوديوم NaOH في 500 مل من الماء المقطر ، أخذ 10 مل من هذا المحلول وتمت معايرته بواسطة حامض الهيدروكلوريك HCl تركيزه 0.1 مولار باستخدام دليل الفينولفثالين. احسب حجم محلول الحامض اللازم للوصول إلى نقطة التعادل.

إجابة الامتحان الذاتي

١. أ. حامض الهيدروكلوريك: يتطاير في التركيز العالية.

ب. حامض الكبريتيك: يمتص الماء لكنه لا يصبح رطباً.

ج. حامض النتريك: متطاير وعرضه للتفكك.

د. هيدروكسيدات الصوديوم و البوتاسيوم: تمتص الرطوبة وتصبح رطبة ، تتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الهواء.

هـ . هيدروكسيد الكالسيوم: لا تذوب بشكل كامل كما أنها تتفاعل مع ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الهواء.

و. الأمونيا: متطاير وهو محلول متغير التركيز.

٢. 20 مل.

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

معايرات الترسيب

معايرات الترسيب

2

الجدارة:

أن يكون الطالب قادراً على تنفيذ تجارب معايرات الترسيب.

الأهداف:

بعد الانتهاء من هذه الوحدة يكون الطالب قادرا على:

١. تنفيذ معايرات الترسيب.
٢. تطبيق الأدلة المختلفة.
٣. استنتاج تركيز المجهول في طريقة موهر، فولهارد و فاجان.

الوقت المتوقع:

٨ ساعات.

متطلبات الجدارة:

١. مقرر نظم وتقنيات مختبرية.
٢. مقرر الأمان والسلامة.
٣. مقرر الكيمياء العامة.

التجربة رقم ١: تعيين تركيز محلول كلوريد الصوديوم (طريقة موهر)

١. الخلفية النظرية:

تتفاعل نترات الفضة مع كلوريد الصوديوم طبقاً للمعادلة التالية:

$$AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl + NaNO_3$$

راسب أبيض

كذلك فإن نترات الفضة تتفاعل مع K_2CrO_4 معطية راسب لا يذوب من كرومات الفضة:

$$2AgNO_3 + K_2CrO_4 \rightarrow Ag_2CrO_4 + 2KNO_3$$

راسب أحمر بني

ولكن على الرغم من ذلك فعندما يتواجد CrO_4^{2-} و Cl^- مع بعضهما فسوف يترسب أولاً كلوريد الفضة بفضل انخفاض ذوبانيتها عن ذوبانية كرومات الفضة، لذا فإن Ag_2CrO_4 سوف تترسب بعد الترسب الكامل لـ Cl^- على هيئة $AgCl$ عند نقطة النهاية عندما يحدث هذا فسوف يلاحظ تكون راسب أحمر بني يدل على نقطة النهاية.

ملاحظة:

هناك شرط يجب أن يستوفى وهو إن وسط المعايرة يجب أن يكون متعادلاً أو قاعدي ضعيف $pH = 7 - 8$ لأنه في الوسط الحمضي:

- فإن أيون CrO_4^{2-} يتحول إلى $Cr_2O_7^{2-}$:

$$2CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$

- فإن كرومات الفضة تذوب في المحاليل الحمضية بفضل تكوين الكرومات الهيدروجينية:

$$CrO_4^{2-} + H^+ \rightleftharpoons HCrO_4^-$$

في الوسط القاعدي تترسب الفضة على هيئة هيدروكسيد كما هو واضحا من المعادلة:

$$Ag^+ + OH^- \rightarrow AgOH$$

٣. الآمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة :

١. سحاحة Burette.

٢. ماصة Pipette.

٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.

٤. دورق مخروطي Conical flask.

٥. كأسين Beakers.

٦. قمع Funnel.

٧. محلول قياسي من نترات الفضة Silver nitrate $AgNO_3$.

٨. محلول كلوريد الصوديوم (مجهول التركيز) Sodium Chloride NaCl.

٩. دليل كرومات البوتاسيوم Potassium Chromate Indicator K_2CrO_4.

٤. خطوات التجربة :

١. تملأ السحاحة بمحلول نترات الفضة القياسي (معلوم المولارية).

٢. يوضع ١٠ مل من محلول كلوريد الصوديوم في دورق مخروطي بواسطة الماصة و يضاف إليه نصف مل من محلول كرومات البوتاسيوم Potassium Chromate K_2CrO_4.

٣. تضاف نترات الفضة من السحاحة إلى الدورق بكميات قليلة و يدور بعناية للتأكد من اختلاط المتفاعلين.

٤. يستمر في إضافة نترات الفضة حتى يظهر راسب أحمر أو بني غامض.

٥. يدور الخليط فإذا ذهب اللون الأحمر أضيفت قطرة واحدة من النترات و يستمر العمل على هذا المنوال حتى يتكون راسب احمر لا يزول برج الدورق.

٦. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كحجم نهائي.

٧. تكرر التجربة ٣ مرات.

التجربة رقم (٢) : تعيين تركيز محلول نترات الفضة (طريقة فولهارد)

١. الخلفية النظرية :

في هذه الطريقة يستخدم الشب الحديديكي أو نترات الحديديك كدليل في وسط حمضي. لذا فعندما يضاف محلول الثيوسيانات إلى محلول $AgNO_3$ المحمض بوجود الشب الحديديكي كدليل (بعبارة أخرى أيونات Fe^{3+}) فسوف يحدث التفاعلان التاليان:

$$Ag^{+} + CNS^{-} \rightarrow AgCNS\downarrow \quad (1)$$
$$Fe^{3+} + 6CNS^{-} \rightarrow [Fe(CNS)_6]^{3-} \quad (2)$$

فالتفاعل رقم (1) يجب أن يحدث أولاً لأن المركب الناتج منه أقل ذوباناً من المركب الناتج من التفاعل رقم (2) لذا فإن تكوين معقد ثيوسيانات الحديدك سوف يبدأ حالاً بعد استنفاذ Ag^{+} من المحلول في هذا الوضع فإن أيون Fe^{3+} أو الشب الحديدكي يمكن استخدامه لإيجاد نقطة النهاية للمعايرة ما بين أيونات Ag^{+} , CNS^{-}.

٢. الآمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة :

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette.
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers - قمع Funnel.
٦. محلول قياسي من نترات الفضة Silver nitrate $AgNO_3$.
٧. محلول ثيوسيانات البوتاسيوم Potassium Thiocyanate KSCN.

٨. حمض النتريك المخفف Diluted Sulphuric Acid.

٤. خطوات التجربة :

١. تملأ السحاحة بمحلول ثيوسيانات البوتاسيوم (معلوم التركيز).
٢. يوضع ١٠ مل من محلول نترات الفضة (مجهول التركيز).
٣. يضاف ٢ مل من حمض النتريك المخفف و المعد للتجربة.
٤. يضاف ٢ مل من نترات الحديديك الذي يستخدم كدليل و تخلط مكونات الدورق بتدويره بعناية.
٥. يضاف محلول الثيوسيانات من السحاحة إلى الدورق بعناية و بكميات قليلة حتى يبدأ لون المحلول (و هو الذي عديم اللون) في التغير إلى اللون الأحمر.
٦. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كحجم نهائي.
٧. تعاد التجربة ٣ مرات.

التجربة رقم ٣ : تعيين تركيز محلول كلوريد الصوديوم (طريقة فاجان)

١. الخلفية النظرية :

تعتمد هذه الطريقة على استخدام أدلة الامتزاز (أدلة الادمصاص) حيث تمتز أيونات الدليل عند نقطة النهاية على سطح الراسب و يصاحب عملية الامتزاز تغير في لون الدليل. و من أدلة الامتزاز الشائعة دليل الفلوريسين و دليل اليوسين.

في معايرة أيون الكلوريد بواسطة كاشف الفضة ينجذب دليل الفلوريسين (السالب الشحنة) إلى رقيقة $AgCl: Ag^+$ المشحونة بالشحنة الموجبة (مباشرة بعد نقطة النهاية) مكوناً فلوريسنات الفضة الوردية اللون على سطح رقائق AgCl.

٢. الأمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة :

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette.
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers - قمع Funnel.
٦. محلول قياسي من نترات الفضة Silver nitrate $AgNO_3$.
٧. محلول كلوريد الصوديوم (مجهول التركيز) Sodium Chloride NaCl.
٨. دكسترين - حمض الخليك Acetic Acid CH_3COOH.
٩. أسيتات الصوديوم Sodium Acetate CH_3COONa.
١٠. دليل الفلوريسين.

٤. خطوات التجربة:

١. تملأ السحاحة بمحلول نترات الفضة القياسي (معلوم المولارية).

٢. يوضع ١٠ مل من محلول كلوريد الصوديوم في دورق مخروطي بواسطة الماصة و يضاف إليه ١ مل من خليط حمض الخليك و خلات الصوديوم (٠,٥ مولار حمض و ٠,٥ مولار ملح الحمض) ثم يضاف ٠,١ جرام من دكسترين.

٣. تضاف نترات الفضة بعناية مع خلط محتويات الدورق بتحريك الدورق في اتجاه دائري و يستمر في إضافة نترات الفضة حتى يتبقى لنقطة التعادل ١ مل، تضاف ٥ قطرات من محلول ثنائي كلوريد الفلوريسين (الدليل).

٤. يواصل التعيير حتى يتغير لون الراسب من أبيض إلى وردي فاتح.

٥. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كحجم نهائي.

٦. تكرر التجربة ٣ مرات و يؤخذ متوسط الحجم.

التجربة رقم (٤): تقدير مولارية محلول كلوريد الصوديوم بطريقة فولهارد غير مباشرة

١. الخلفية النظرية:

يمكن تطبيق طريقة فولهارد بصورة غير مباشرة لتقدير الكلوريدات أو البروميدات في الوسط الحمضي. في هذا الخصوص تضاف زيادة من محلول نترات الفضة القياسي إلى محلول الهاليد ثم تعاير الزيادة خلفيا (رجوعيا) بواسطة محلول الثيوسيانات القياسي. تظهر الصعوبة في هذه الطريقة نتيجة لتفاعل كلوريد الفضة المترسب مع ثيوسيانات البوتاسيوم المضافة من السحاحة مؤديا ذلك لتكون ثيوسيانات الفضة قليلة الذوبان. كما أن كلوريد الفضة المترسب هذا أكثر ذوبانا من ثيوسيانات الفضة و بالتالي فهو يميل للتفاعل مع معقد ثيوسيانات الحديديك، لهذه الأسباب فإنه يجب في مثل هذه الحالة ترشيح كلوريد الفضة المترسب.

تفاعل ما قبل المعايرة:

Ag^{+} (نترات الفضة قياسي بكمية زائدة) + $Cl^{-} \rightarrow AgCl\downarrow + Ag^{+}$ (كمية زائدة)

تفاعل المعايرة الخلفية:

Ag^{+} (الكمية الزائدة) + $CNS^{-} \rightarrow AgCNS\downarrow$

تفاعل نقطة النهاية (تفاعل الدليل):

$$Fe^{3+} + 6CNS^{-} \rightarrow [Fe(CNS)_6]^{3-}$$

مثال:

أضيفت ١٠ مل من محلول كلوريد الصوديوم المحمض بحامض النتريك المركز إلى ٢٥ مل من محلول نترات الفضة تركيزه ٠,٠٥ مولار. رُشّح الخليط ثم أضيف دليل نترات الحديدك إلى الرشيح و تمت معايرة الرشيح مع محلول ثيوسيانات البوتاسيوم تركيزه ٠,٠٤٥ مولار فتم استعمال ١٢ مل من محلول الثيوسيانات للوصول إلى نقطة التكافؤ. أحسب مولارية محلول كلوريد الصوديوم.

الحل:

التفاعلات الحادثة:

$$AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl + NaNO_3$$
$$AgNO_3 + KCNS \rightarrow AgCNS + KNO_3$$

نحسب عدد مولات نترات الفضة الكلي:

$$\text{Total AgNO}_3 = 0.05 \times \frac{25}{1000}$$
$$\text{Total AgNO}_3 = 1.25 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

نحسب عدد مولات نترات الفضة المتفاعلة مع الثيوسيانات:

نسبة التفاعل هي كالآتي:

$$1\ \text{mol AgNO}_3 \equiv 1\ \text{mol KCNS}$$

$$\frac{0.045 \times \frac{12}{1000}}{\text{mol AgNO}_3\ \text{(reacted with KCNS)}} = \frac{1}{1}$$

$$\text{mol AgNO}_3\ \text{(reacted with KCNS)} = 5.4 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$
$$\text{Total volume of titration} = 10 + 25 + 12$$
$$\text{Total volume of titration} = 47\ \text{ml}$$

$$\text{mol AgNO}_3\ \text{(reacted with NaCl)} = 1.25 \times 10^{-3} - 5.4 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$
$$\text{mol AgNO}_3\ \text{(reacted with NaCl)} = 7.1 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$

نسبة التفاعل بين NaCl و $AgNO_3$ هي:

$$1\ \text{mol AgNO}_3 \equiv 1\ \text{mol NaCl}$$

$$\frac{7.1\times10^{-4}}{M_{NaCl}\times\frac{10}{1000}}=\frac{1}{1}$$

$$M_{NaCl}=0.071\,M$$

٢. الأدوات المستخدمة :

١. سحاحة.
٢. ماصة.
٣. دورق قياسي.
٤. دورق مخروطي.
٥. كأس.
٦. قمع.
٧. ورق ترشيح.
٨. مخبار مدرج.

٣. المحاليل والكيمياويات

١. محلول كلوريد الصوديوم مجهول التركيز.
٢. محلول قياسي من نترات الفضة.
٣. محلول قياسي من ثيوسيانات البوتاسيوم.
٤. حامض النتريك المركز.
٥. دليل نترات الحديديك (١٠٪).

٤. خطوات العمل

١. أضف ٤٠ مل (مأخوذة بدقة) من محلول نترات الفضة إلى ١٠ مل (مأخوذة بدقة) من محلول كلوريد الصوديوم.
٢. أضف إلى الخليط (٢- ٣) مل من حامض النتريك المركز.
٣. رشح الخليط باستخدام ورقة ترشيح جافة (ترشيح بالجاذبية).

٤. أضف إلى الرشيح (٢- ٣) مل من دليل نترات الحديديك.

٥. املأ السحاحة بمحلول ثيوسيانات البوتاسيوم.

٦. عاير الرشيح مع محلول ثيوسيانات البوتاسيوم حتى ظهور اللون الأحمر.

٧. أحسب التركيز المولاري لكلوريد الصوديوم.

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. لماذا تستخدم طريقة موهر في الوسط المتعادل ؟

٢. لماذا تستخدم طريقة فولهارد في وسط حامضي؟

٣. لدينا أيونات Cl^- و CrO_4^{2-} في تنافس للتفاعل مع الفضة Ag^+. من الذي يترسب أولا : كلوريد الفضة أم كرومات الفضة؟ لماذا؟

٤. اكتب الصيغة الكيميائية فيما يلي: كلوريد الفضة ،كرومات الفضة ، أيون الكرومات، أيون البيكرومات، أيون الثيوسيانات ، ثيوسيانات الفضة.

إجابة الامتحان الذاتي

١. وذلك للأسباب التالية:

أ. تذوب كرومات الفضة في الأوساط الحمضية:

$$CrO_4^{2-} + H^+ \rightleftharpoons HCrO_4^-$$

كما أن الوسط الحمضي يحول الكرومات إلى الدايكرومات:

$$2CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$

ب. في الوسط القاعدي تترسب الفضة على هيئة هيدروكسيد :

$$Ag^+ + OH^- \rightarrow AgOH$$

٢. لأنه في الوسط القاعدي يترسب الحديد الثلاثي (الدليل) على شكل هيدروكسيد Fe(OH)3.

٣. يترسب كلوريد الفضة لأن ذوبانيته أقل من ذوبانية كرومات الفضة.

٤. كلوريد الفضة : $AgCl$ ، كرومات الفضة : Ag_2CrO_4 ، أيون الكرومات: CrO_4^{2-} ، أيون البيكرومات: $Cr_2O_7^{2-}$ ،أيون الثيوسيانات: SCN^- ، ثيوسيانات الفضة : $AgSCN$.

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

معايرات الأكسدة و الاختزال

الجدارة :

أن يكون الطالب قادراً على تنفيذ تجارب معايرات الأكسدة و الاختزال.

الأهداف :

بعد الانتهاء من هذه الوحدة التدريبية يكون الطالب قادرا على:

١. كتابة المعادلة الكاملة و الموزونة لتفاعلات الأكسدة والاختزال.

٢. تنفيذ تجارب الأكسدة و الاختزال بطريقة صحيحة.

٣. استنتاج تركيز المجهول.

الوقت المتوقع :

٦ساعات.

متطلبات الجدارة :

١. مقرر نظم وتقنيات مختبرية .

٢. مقرر الأمان والسلامة .

٣. مقرر الكيمياء العامة .

التجربة رقم (١): تعيين مولارية برمنجنات البوتاسيوم

١. الخلفية النظرية:

أن برمنجنات البوتاسيوم عامل مؤكسد قوي خصوصاً في الوسط الحمضي تصل برمنجنات البوتاسيوم إلى قوتها التأكسدية القصوى كما هو واضح من خلال المعادلة التالية:

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5O + 3H_2O$$

أو من خلال المعادلة الإلكترونية التالية:

$$MnO_4^{2-} + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$$

يتضح من المعادلة الأخيرة أن عدد الأكسدة للمنجنيز يتغير من +7 إلى +2.

يعتبر حامض الكبريتيك وسط حمضي مناسب وذلك لعدم تأثيره على البرمنجنات في المحاليل المخففة و لا يوصى باستخدام حمض الهيدروكلوريك لأن بعضاً من البرمنجنات سوف تستهلك في أكسدة حمض الهيدروكلوريك إلى الكلور حسب التفاعل التالي :

$$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 2KCl + 2MnCl_2 + 5Cl_2 + 8H_2O$$

في هذه التجربة فإن التفاعل مابين حمض الأوكساليك و برمنجنات البوتاسيوم يكون كالتالي:

$$2KMnO_4 + 5H_2C_2O_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 10CO_2 + 8H_2O$$

أو بالصيغة الأيونية:

$$2MnO_4^- + 16H^+ + 5C_2O_4^{2-} \rightarrow 2Mn^{2+} + 8H_2O + 10CO_2$$

يراعى في هذه المعايرة تسخين محلول حامض الأوكساليك إلى حوالي 90 – 60 درجة مئوية حتى لا يتكون راسب بني أثناء المعايرة .

٢. الأمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة :

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette.
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers.
٦. قمع Funnel.
٧. محلول قياسي من حمض الأكساليك Oxalic Acid $H_2C_2O_4$.
٨. محلول برمنجنات البوتاسيوم (مجهول التركيز) Potassium Permanganate $KMnO_4$.
٩. حمض الكبريتيك المخفف Dilute Sulphuric Acid.

٤. خطوات التجربة :

١. يوضع ١٠ مل من محلول حمض الأكساليك (مادة سامة !) بعناية في دورق مخروطي بواسطة الماصة ثم يضاف إليه ٥ مل من حمض الكبريتيك المخفف المعد لهذه التجربة.
٢. تملأ السحاحة بمحلول برمنجنات البوتاسيوم.
٣. يضاف برمنجنات البوتاسيوم بعناية مع خلط محتويات الدورق بتحريك الدورق في اتجاه دائري (يلاحظ اختفاء لون البرمنجنات من جراء التفاعل).
٤. يستمر في إضافة البرمنجنات بعناية حتى ظهور لونه ثانيا في محلول التعيير.
٥. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كقراءة نهائية.
٦. تعاد التجربة ٣ مرات و يؤخذ متوسط الحجم.
٧. تعاد الخطوات السابقة بتسخين محلول الأكساليك إلى درجة حرارة حوالي 70 درجة مئوية ثم يعاير قبل أن يبرد.

التجربة رقم (٢): تعيين مولارية ثيوكبريتات الصوديوم

١. الخلفية النظرية:

في هذه التجربة (معايرات اليود المباشرة) يستخدم اليود (عامل مؤكسد ضعيف) لمعايرة عامل مختزل قوي و هو ثيوكبريتات الصوديوم.

الطرق المباشرة ليود عادة ما تجرى في وسط متعادل أو قاعدي ضعيف أو حمضي ضعيف و ذلك للأسباب التالية:

١. في الوسط القاعدي القوي يتحول اليود إلى ايون الهيبوأيودات IO^- و اليوديد I^-:

$$I_2 + 2OH^- \rightarrow IO^- + I^- + H_2O$$

٢. في الوسط الحمضي القوي يتأثر النشا الذي يستخدم كدليل في هذه المعايرة حيث يحدث له تميؤ و يتحلل مما يؤثر على نقطة النهاية. كما يتأكسد أيضا اليوديد بفعل أكسجين الهواء في الوسط الحمضي القوي:

$$4I^- + O_2 + 4H^+ \rightarrow 2I_2 + 2H_2O$$

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة:

١. سحاحة Burette.

٢. ماصة Pipette.

٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.

٤. دورق مخروطي Conical flask.

٥. كأسين Beakers

٦. قمع Funnel.

٧. محلول اليود (مجهول التركيز).

٨. محلول قياسي من ثيوكبريتات الصوديوم Sodium Thiosulfate $Na_2S_2O_3$.

٩. دليل النشا Starch Indicator.

٤. خطوات التجربة :

١. تملأ السحاحة بمحلول اليود.

٢. تنقل ١٠ مل من محلول ثيوكبريتات الصوديوم القياسي إلى دورق مخروطي و يضاف إليها ٣ مل من محلول النشا المعد لهذه التجربة و يحرك محتويات الدورق في شكل دائري ليتم خلاط محتوياته.

٣. يضاف محلول اليود من السحاحة مع استمرار تحريك الدورق في شكل دائري حتى يظهر لون أزرق باهت.

٤. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كقراءة نهائية.

٥. تعاد التجربة ٣ مرات و يؤخذ متوسط الحجم.

التجربة رقم (٣) : تقييس محلول ثيوكبريتات الصوديوم باستخدام محلول قياسي من يودات البوتاسيوم النقية

١. الخلفية النظرية :

في هذه التجربة تستخدم الطريقة الأيودومترية لتقييس (تعيير) محلول ثيوكبريتات الصوديوم حيث يتفاعل محلول يودات البوتاسيوم القياسي KIO_3 مع زيادة من يوديد البوتاسيوم في المحلول المحمض ثم يعاير اليود المتحرر مع محلول ثيوكبريتات الصوديوم المضاف من السحاحة حتى يتغير اللون البني لمحلول اليود المتحرر إلى الأصفر الباهت ثم تضاف بضعة قطرات من محلول النشا معطية محلولا أزرق. بعد ذلك تستمر إضافة محلول الثيوكبريتات نقطة نقطة حتى يختفي اللون الأزرق.

التفاعلات الحادثة كما يلي:

$$IO_3^- + 5I^- + 6H^+ \rightarrow 3H_2O + 3I_2$$

$$\text{Or: } KIO_3 + 5KI + 3H_2SO_4 \rightarrow 3K_2SO_4 + 3H_2O + 3I_2$$

$$I_2 + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow 2I^- + S_4O_6^{2-}$$

$$\text{Or: } I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$$

مثال:

أضيف ١ جرام من يوديد البوتاسيوم إلى ١٠ مل من محلول يودات البوتاسيوم تركيزه ٠,٠٢٥ مولار المحمض بحامض الكبريتيك المخفف. تمت معايرة اليود المتحرر من هذا التفاعل مع محلول ثيوكبريتات الصوديوم فكان الحجم المستعمل من الثيوكبريتات للوصول إلى نقطة التعادل ١٥ مل. أحسب التركيز المولاري لمحلول ثيوكبريتات الصوديوم.

الحل:

التفاعلات الحادثة هي كالآتي:

$$IO_3^- + 5I^- + 6H^+ \rightarrow 3I_2 + 3H_2O$$

$$I_2 + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow 2I^- + S_4O_6^{2-}$$

نسب التفاعل هي كالآتي:

$$IO_3^- \equiv 3I_2$$

$$I_2 \equiv 2S_2O_3^{2-}$$

$$\therefore \quad IO_3^- \equiv 6S_2O_3^{2-}$$

أي أن:

$$1 \text{ mol } IO_3^- \equiv 6 \text{ mol } S_2O_3^{2-}$$

و يحسب تركيز الثيوكبريتات كالآتي:

$$\frac{0.025 \times \frac{10}{1000}}{M_{S_2O_3^{2-}} \times \frac{15}{1000}} = \frac{1}{6}$$

$$M_{S_2O_3^{2-}} = 0.1M$$

٢. الأدوات

١. ساحة.
٢. ماصة.
٣. دورق قياسي.
٤. دورق مخروطي.
٥. كأس.
٦. مخبار مدرج.
٧. ملعقة وزن.
٨. ميزان حساس.

٣. الكيمياويات و المحاليل

١. يوديد البوتاسيوم الصلب.
٢. محلول ثيوكبريتات الصوديوم مجهول التركيز.
٣. محلول قياسي من يودات البوتاسيوم.
٤. محلول مخفف من حامض الكبريتيك
٥. دليل النشا.

٤. طريقة العمل

١. انقل بالماصة ٥ مل من محلول يودات البوتاسيوم إلى دورق مخروطي.
٢. أضف إلى الدورق ١ جرام من يوديد البوتاسيوم.
٣. حمّض محلول الدورق بحمض الكبريتيك المخفف.
٤. املأ السحاحة بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم.
٥. .عاير اليود المتحرر مع محلول ثيوكبريتات الصوديوم حتى يصبح محلول الدورق ذو لون أصفر باهت.
٦. أضف دليل النشا إلى محلول الدورق فينتج لون أزرق غامق.
٧. استمر بالمعايرة حتى زوال اللون الأزرق.

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. لماذا لا يستخدم حامض الهيدروكلوريك أو حامض النتريك كوسط حمضي عند استخدام برمنجنات البوتاسيوم في المعايرة .

٢. استخدمت 35 سم^{٣} من محلول برمنجنات البوتاسيوم لأكسدة 0.2145 جرام من عينة لحامض الأوكساليك ثنائي المائية احسب تركيز محلول برمنجنات البوتاسيوم.

إجابة الامتحان الذاتي

١. وذلك للأسباب التالية:

أ. بعض البرمنجنات تستهلك في أكسدة حامض HCl إلى الكلور:

$$KmnO_4 + 16HCl \rightarrow 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O + 5Cl_2$$

ب. حامض HNO_3 عامل مؤكسد ويمكن أن يتداخل مع التأثير المؤكسد للبرمنجنات .

٢. 0.01952 مولار.

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

معايرات المركبات التي تتضمن تكوين مركب معقَّد

الجدارة:

أن يكون الطالب قادراً على تنفيذ معايرات المركبات التي تتضمن تكوين مركب معقّد.

الأهداف :

بعد الانتهاء من هذه الوحدة يكون الطالب قادرا على الآتي:

تنفيذ هذه المعايرة .

استنتاج التركيز المجهول.

الوقت المتوقع للتدريب :

ساعتان.

متطلبات الجدارة:

١. مقرر نظم وتقنيات مختبرية.
٢. مقرر الأمان والسلامة في المختبرات الكيميائية.
٣. مقرر الكيمياء العامة.

التجربة رقم (١): تعيين تركيز الكالسيوم و المغنيسيوم في خليط

١. الخلفية النظرية:

يطلق لفظ الماء المعسر عندما تكون عينة الماء محتوية عادة على $Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}$ أو أي أيون آخر له القدرة على تكوين ستيرات Stearates غير ذائبة. و الماء العسر نوعان :

١. الماء ذو العسرة المؤقتة : سببه وجود بيكربونات الكالسيوم و المغنيسيوم والحديد يمكن التخلص من هذه الأملاح إما بالغليان أو إضافة ماء الجير (هيدروكسيد الكالسيوم) .

٢. الماء ذو العسرة الدائمة : سببه وجود كبريتات الكالسيوم و المغنيسيوم والحديد وأحياناً كلوريدات هذه المعادن لا يمكن إزالة هذه الأملاح بالغليان ، بل يجب إتباع الطرق التالية:

- إضافة كربونات الصوديوم .
- استخدام مزيلات العسرة التجارية مثل Permutit حيث أن هذا المركب ينتمي لطائفة من المركبات تسمى الزيوليتات Zeolites وهي سليكات معدنية طبيعة المنشأ.
- استخدام المبادلات الأيونية Ion exchange resins.

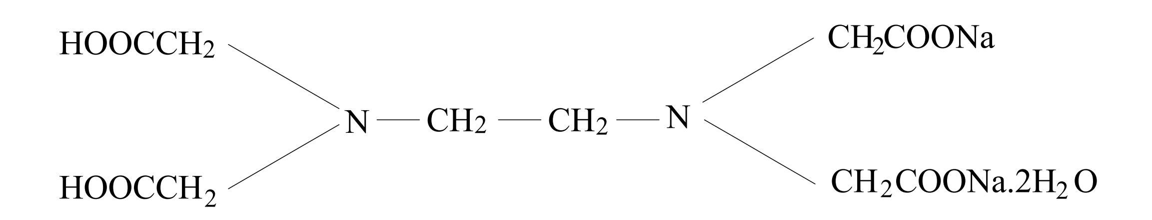
يمكن تقدير أيونات الكالسيوم و المغنيسيوم الموجودة في المحاليل بالمعايرة مع محلول EDTA حيث يكوِّن كل منهما معقداً مخلبياً Chelate Complex طبقاً للمعادلة:

$$M^{2+} + H2Y^{2-} \rightarrow MY^{2-} + 2H^{+}$$

حيث أن:

M^{2+} : تمثل Ca^{2+} أو Mg^{2+} .

H_2Y^{2-}: هو ملح ثنائي الصوديوم لـ إدتا (الشكل ١).



الشكل (١): التركيب الكيميائي للعامل المعقد ملح إدتا (اثيلين ثنائي امين رباعي حمض الخليك ثنائي الصوديوم Na_2H_2Y)

يتكون مركب معقد نتيجة لتفاعل محلول EDTA مع أيون العنصر بنسبة ١:١ بغض النظر عن تكافؤ العنصر ، ففي حالة تفاعل EDTA مع Ca^{2+} يتم ضبط الرقم الهيدروجيني عند pH=12 ثم يضاف دليل الميروكسيد الذي يكوّن مركبا معقداً مع Ca^{2+} ثم يجري المعايرة باستخدام محلول EDTA حتى نقطة النهاية.

عندما يتفاعل إدتا مع Mg^{2+} وCa^{2+} يتم ضبط الرقم الهيدروجين عند pH=10 ثم يضاف دليل أيريكروم بلاك تي الذي يكون مركبا معقداً مع Mg^{2+} وCa^{2+} ثم تجري المعايرة باستخدام محلول EDTA حتى نقطة النهاية.

٢. الأمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. الأدوات و المواد المستخدمة :

١. سحاحة Burette.
٢. ماصة Pipette.
٣. دورق قياسي (١٠٠ مل) Volumetric flask.
٤. دورق مخروطي Conical flask.
٥. كأسين Beakers
٦. قمع Funnel.
٧. محلول إدتا القياسي.
٨. محلول خليط من Ca^{2+} و Mg^{2+} (مجهول التركيز).
٩. محلول منظم من هيدروكسيد الأمونيوم و كلوريد الأمونيوم (pH = 10 و pH = 12).
١٠. محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (٢٠٪) - دليل إيريوكروم بلاكتي Eriochrome Black T و الميروكسيد.
١١. ورق pH قياسي.

٤. خطوات التجربة:

أ ـ تعيين تركيز الكالسيوم:

١. خذ ١٠ مل من محلول الخليط إلى دورق مخروطي بالماصة.
٢. أضف قطرات من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم للحصول على $pH = 12$ و يمكن التأكد من ذلك باستخدام ورق pH القياسي.
٣. أضف دليل الميروكسيد.
٤. أضف محلول إدتا من السحاحة حتى يتغير لون المحلول من الأحمر القرمزي إلى اللون البنفسجي.
٥. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كقراءة نهائية (و يكون حجم EDTA في هذه الحالة مكافئ للكالسيوم V_1).
٦. تعاد الخطوات السابقة ٣ مرات.

ب ـ تعيين تركيز المغنيسيوم:

١. خذ ١٠ مل من محلول الخليط إلى دورق مخروطي بالماصة.
٢. أضف قطرات من المحلول المنظم (هيدروكسيد الأمونيوم + كلوريد الأمونيوم) للحصول على $pH = 10$.
٣. أضف قطرات من دليل إيريوكروم بلاكتي.
٤. أضف محلول إدتا من السحاحة حتى يتغير لون المحلول من الأحمر إلى اللون الأزرق.
٥. تؤخذ قراءة السحاحة و تسجل كقراءة نهائية (يكافئ الحجم في هذه الحالة الحجم المكافئ للكالسيوم و للمغنيسيوم V_2).
٦. تعاد الخطوات السابقة ٣ مرات و يؤخذ متوسط الحجم. يحسب الحجم المكافئ للمغنيسيوم $V = V_1 - V_2$.

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. اشرح مما ينشأ عسر الماء ؟ اذكر أنواعه وأسباب تكوين كل نوع .

٢. أضيف محلول منظم وبضع قطرات من دليل إيروكروم بلاك تي إلى 50 سم^3 من الماء الحنفية احتاج المحلول للمعايرة الكاملة إلى 9.8 سم^3 من ٠,٠١ مولار من محلول إدتا. احسب عسرة الماء مقدرة ب ppm من الكالسيوم مفترضاً بأن سبب العسرة هي أملاح الكالسيوم.

إجابة الامتحان الذاتي

١. يطلق لفظ الماء المعسر عندما تكون عينة الماء محتوية عادة على Ca , Mg , Fe أو أي أيون آخر له القدرة على تكوين ستيرات stearates غير ذائبة.

الماء العسر نوعان :

- الماء ذو العسرة المؤقتة : سببه وجود بيكربونات الكالسيوم و المغنيسيوم والحديد يمكن التخلص من هذه الأملاح إما بالغليان أو إضافة ماء الجير (هيدروكسيد الكالسيوم) .

- الماء ذو العسرة الدائمة : سببه وجود كبريتات الكالسيوم و المغنيسيوم والحديد وأحياناً كلوريدات هذه المعادن لا يمكن إزالة هذه الأملاح بالغليان ، بل يجب إتباع الطرق التالية :

إضافة كربونات الصوديوم .

استخدام مزيلات العسرة التجارية مثل permutit حيث أن هذا المركب ينتمي لطائفة من المركبات تسمى الزيوليتات Zeolites وهي سليكات معدنية طبيعة المنشأ .

استخدام المبادلات الأيونية Ion exchange resins .

٢. 78.6 ppm .

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

التحليل الوزني

التحليل الوزني

٥

الجدارة:

أن يكون الطالب قادرا تنفيذ تجارب التحليل الوزني بطريقة صحيحة.

الأهداف :

١. أن يكون الطالب قادراً على تنفيذ التجارب.
٢. أن يكون الطالب قادراً على إجراء الحسابات واستنتاج عدد جزيئات ماء التبلر الموجودة في كلوريد الباريوم المائي .
٣. أن يكون الطالب قادراً على إجراء الحسابات واستنتاج النسبة المئوية للصوديوم في العينة.

الوقت المتوقع :

٦ ساعات.

متطلبات الجدارة :

١. مقرر نظم وتقنيات مختبرية .
٢. مقرر الأمان والسلامة .
٣. مقرر الكيمياء العامة .

التحليل الوزني

١. مقدمة :

في التحليل الوزني يتم ترسيب العنصر المراد تقديره على شكل مركب شحيح الذوبان و بعد تجفيفه (أو حرقه) يمكن وزنه و بعد الحسابات تستنتج نسبته في العينة.

و تتم عملية التحليل الوزني على عدة خطوات و هي:

١. المعالجة المبدئية.
٢. الترسيب.
٣. الترشيح.
٤. التجفيف أو الحرق.
٥. الوزن.
٦. الحسابات.

أ ـ المعالجة المبدئية:

في هذه المرحلة يتم ضبط الظروف المناسبة للتجربة كضبط درجة الحرارة و الرقم الهيدروجيني و الأحجام و التراكيز و فصل المتداخلات.

ب ـ الترسيب:

يتم اختيار الراسب المناسب بحيث يكون شحيح الذوبان.

ج ـ الترشيح:

يستخدم طريقتين في عملية الترشيح:

١. الترشيح بواسطة ورق الترشيح: يستخدم ورق الترشيح عديم الرماد بحيث أنه لا يتبقى من الورق إلا كمية ضئيلة جدا يمكن إهمالها $1 X 10^{-5}$ جرام. تختار المسامات المناسبة لترشيح الراسب بحيث لا تسمح بمرور الحبيبات من خلالها.
٢. الترشيح بواسطة بوتقة الترشيح: يتم الترشيح بهذه الطريقة في الحالات التي يجفف فيها الراسب و لا يمكن حرقه في وجود الورقة.

ج ـ التجفيف أو الحرق:

يتم التجفيف عند درجة 110 درجة مئوية في فرن تجفيف لمدة ساعة تقريبا و بعد ذلك ينقل إلى المجفف لكي. يوزن الراسب بعد أن يبرد.

للحصول على الصورة الموزونة نضطر في بعض التجارب إلى الحرق الذي يتم عند درجة عالية، عادة 450 ـ 900 ، يمكن أن تصل حتى 1200 درجة مئوية.

د ـ الوزن:

في عملية الوزن يستخدم ميزان حساس بحيث أن نحصل على دقة 0.00001 ± جرام.

و ـ الحسابات:

يتم حساب أولا المعامل الوزني GF:

$$GF=\frac{\text{MW (or atomic weight) of analyte}}{\text{MW of weighed substance}}\times\frac{a}{b}$$

علما بأن:

MW : الوزن الجزيئي.

analyte : المادة المراد تقديرها.

Weighed substance : المادة الموزونة.

a : عدد مولات المادة المراد تقديرها.

b : عدد مولات المادة الموزونة.

و يحسب وزن المادة المراد تقديرها:

$$\text{Weight of analyzed substance (g)} = GF \times \text{weight of precipitate (g)}$$

و أخيرا تحسب النسبة المئوية للمادة المراد تقديرها:

$$\text{Weight \% of analyzed substance} = \frac{\text{GF} \times \text{weight of precipitate (g)}}{\text{weight of sample (g)}} \times 100$$

مثال:

تم ترسيب عنصر الكالسيوم الموجود في عينة من ماء الصنبور (حجمها 200 مل) على شكل أكسالات الكالسيوم CaC2O4. بعد الترسيب يتم ترشيح غسل و حرق الراسب في بوتقة وزنها 26.6002 جرام. وزن البوتقة + CaO = 26.7134 جرام. احسب وزن Ca الموجود في 100 مل من الماء.

الحل:

- أولا نحسب GF:

$$\text{GF}=\frac{40.08}{56.08}=0.7147$$

علما بأن:

الوزن الذري للكالسيوم يساوي 40.08.

الوزن الجزيئي لـ CaO = 56.08.

- نحسب وزن Ca في العينة (200) مل:

$$\text{Weight of Ca (g)} = 0.7147 \times 0.1132 \text{ (g)} = 0.8094 \text{ g}$$

علما بأن وزن الراسب بعد الحرق (CaO) = 26.7134 – 26.6002 = 0.1132 جرام.

- نحسب وزن ca في 100 مل:

$$0.8094\ g \rightarrow 200\ ml$$

$$x \rightarrow 100\ ml$$

$$x = 0.4047\ g$$

التجربة رقم (١): تقدير جزيئات ماء التبلر في كلوريد الباريوم المائي

١. الخلفية النظرية :

يفقد كلوريد الباريوم المائي جزيئات ماء التبلر عند رفع درجة حرارته إلى حوالي 200 ^{o}C لمدة نصف ساعة تقريباً ، وبذلك يمكن وزن عينة منه قبل وبعد التجفيف ، ومن النقص في الوزن يمكن حساب عدد جزيئات ماء التبلر .

٢. الآمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. المواد الكيميائية و الأدوات :

١. كلوريد الباريوم المائي $BaCl_2.xH_2O$.

٢. ماء مقطر Distilled water.

٣. فرن تجفيف Drying oven.

٤. مجفف Desiccator.

٥. بوتقة Crucible.

٦. ميزان حساس.

٤. خطوات التجربة :

١. زِن بدقة 1.0000 جرام تقريبا من كلوريد الباريوم المائي في بوتقة جافة فارغة نظيفة معلوم وزنها.

٢. ضع البوتقة داخل فرن التجفيف لمدة 30 دقيقة.

٣. اخرج البوتقة من الفرن و ضعها في الحال داخل المجفف لمدة 20 دقيقة حتى تبرد تماما.

٤. زِن البوتقة و بداخلها كلوريد الباريوم اللامائي Anhydrate barium chloride و أوجد وزنه.

٥. أحسب عدد جزيئات ماء التبلر في العينة.

٥. الحسابات:

MW of $BaCl_2.xH_2O \rightarrow$ MW of $BaCl_2$

$208.246 + 18x \rightarrow 208.246$

………………... $\rightarrow$ ……….

و من هذه المعادلة يمكن إيجاد قيمة x و التي تعبر عن عدد جزيئات ماء التبلر.

التجربة رقم (٢): تقدير الصوديوم

١. الخلفية النظرية:

يتم تقدير الصوديوم على هيئة صوديوم خلات يورانيل الزنك $NaZn(UO)_2(CH_3COO)_9.6H_2O$ حيث يتم بترسيبه بواسطة محلول خلات يورانيل الزنك المحمضة بحمض الخل ، ونظراً لقابلية الراسب الشديدة للذوبان أثناء الترشيح يتم ترشيحه بالطريقة التالية:
يغسل الراسب بجزء صغير من المرسب لإزالة أي أملاح أخرى موجودة ثم يغسل بالإيثانول الذي يزيل الزيادة من المرسب ثم يغسل بالاسيتون الذي يسهل ويسرع من عملية التجفيف.

٣. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. المواد الكيميائية و الأدوات:

١. محلول كلوريد الصوديوم تريكزه 2g/L.
كاشف خلات يورانيل الزنك*.
٢. الإيثانول.
٣. الأسيتون.
٤. ماء مقطر.
٥. أدوات ترشيح (بوتقة ترشيح رقم ٤).
٦. ميزان حساس.
٧. كأس سعة 50 مل.
٨. ماصة.
٩. موقد بنزن.

* يحضر كاشف خلات يورانيل الزنك بخلط أحجام متساوية من المحلول (أ) و المحلول (ب). يترك الخليط لمدة 24 ساعة ثم يرشح).

أ ـ المحلول (أ): ذوب 20 جرام من خلات اليورانيل $UO_2(C_2H_3O_2)_2.2H_2O$ المبلور في 4 مل من حمض الخليك المركز و 100 مل من الماء (ربما يكون التسخين ضروري).

ب ـ المحلول (ب): ذوب 60 جرام من خلات الزنك $Zn(C_2H_3O_2)_2.3H_2O$ في 3 مل من حمض الخليك المركز و 100 مل من الماء.

٤. خطوات التجربة:

١. انقل بدقة 10 مل من محلول كلوريد الصوديوم تركيزه 2g/L إلى كأس سعة 50 مل.

٢. بخر المحلول حتى الجفاف على لهب بنزن.

٣. أذب الملح المتبقي في حوالي 1 مل من الماء المقطر، ثم أضف 10 مل من كاشف خلات يورانيل الزنك.

٤. اترك المحلول عند درجة حرارة الغرفة لمدة ٤٥ دقيقة.

٥. رشح المحلول خلال بوتقة الترشيح رقم ٤ المعلوم وزنها من قبل.

٦. أغسل الراسب خمس مرات ـ كل مرة بحوالي 2 مل من كاشف خلات يورانيل الزنك.

٧. أغسل الراسب خمس مرات ـ كل مرة بحوالي 2 مل من الإيثانول.

٨. أغسل الراسب خمس مرات ـ كل مرة بحوالي 2 مل من الأسيتون.

٩. أترك الراسب ليجف عند درجة حرارة الغرفة لمدة 30 دقيقة، و أوجد وزن الراسب.

٥. الحسابات:

يحسب المعامل الوزني GF كالآتي:

$$GF = \frac{\text{atomic weight of sodium}}{\text{MW of } NaZn(UO_2)_3(C_2H_3O_2)_9.6H_2O}$$

و تحسب النسبة المئوية للصوديوم كالآتي:

$$\%(Na) = \frac{\text{wt. of precipitate} \times GF}{\text{sample weight}} \times 100$$

التجربة رقم (٣): تقدير الكلوريد

١. الخلفية النظرية

يتم تقدير الكلوريد (كمجموعة متأينة) بترسيبه على هيئة كلوريد الفضة الشحيح الذوبان بواسطة محلول نترات الفضة. و يلاحظ إضافة حمض النتريك المركز خلال التجربة ليساعد على تجميع الراسب و منع التداخل من بعض الآنيونات الأخرى مثل الكربونات و الفوسفات.

$$Cl^- + AgNO_3 \rightarrow AgCl + NO_3^-$$

كما يلاحظ تجميع الراسب في مكان مظلم لا يتأثر بضوء الشمس.

مثال:

عينة غير نقية من ملح كلوريد الصوديوم وزنها ٥,٣٢ جرام أضيف لها محلول من نترات الفضة فترسب جميع الكلوريد الموجود في العينة على هيئة كلوريد الفضة وزنه ٥,٣٧ جرام. أحسب النسبة المئوية الوزنية للكلوريد في العينة.

الحل:

نحسب أولا المعامل الوزني Gravimetric Factor (GF):

$$GF=\frac{\text{MW (or atomic weight) of analyte}}{\text{MW of weighed substance}}\times\frac{a}{b}$$

علما بأن:

MW : الوزن الجزيئي، analyte : المادة المراد تقديرها، Weighed substance : المادة الموزونة (وزن الراسب)، a : عدد مولات المادة المراد تقديرها ، b : عدد مولات المادة الموزونة.

$$GF = \frac{35.5}{143.5}$$

$$GF = 0.2474$$

و أخيرا نحسب نسبة الكلوريد في العينة كالآتي:

$$\text{Weight \% of analyzed substance} = \frac{\text{GF} \times \text{weight of precipitate (g)}}{\text{weight of sample (g)}} \times 100$$

$$Cl\% = \frac{0.2474 \times 5.37}{5.32} \times 100$$

$$Cl\% = 25.\%$$

٢. الأدوات المستخدمة

١. كأس سعة ٤٠٠ مل.
٢. ميزان حساس.
٣. محراك زجاجي.
٤. جهاز ترشيح.
٥. بوتقة ترشيح.

٣. المحاليل الكيميائية و الكيمياويات

١. كلوريد الصوديوم الجاف.
٢. حمض النيتريك المركز.
٣. حمض النيتريك 1% (v/v).
٤. محلول نترات الفضة 0.2N.

٤. طريقة العمل:

١. أوزن بدقة ٠,٣ جرام من كلوريد الصوديوم الجاف و أنقلها إلى كأس سعة ٤٠٠ مل.
٢. أذب العينة في قليل من الماء المقطر ثم خفف المحلول بالماء إلى حوالي ١٥٠ مل.
٣. أضف حوالي ١٠ قطرات من حمض النيتريك المركز.
٤. أضف محلول نترات الفضة 0.2N مع التقليب ببطء حتى يكتمل الترسيب (يمكنك التأكد من ذلك بترك المحلول فترة ليستقر ثم أضف بضع قطرات أخرى من المرسب فلا يتكون راسب جديد).
٥. سخن المحلول المعلق حتى الغليان مع التقليب حتى يتجمع الراسب.
٦. أبعد الكأس عن اللهب، اترك الراسب ليستقر و اكشف مرة أخرى عن تمام الترسيب، فإذا لم يتكون راسب جديد كرر التسخين مع التقليب.
٧. ضع الكأس مغطي بزجاجة ساعة في مكان مظلم لمدة ٤٥ دقيقة.
٨. رشح المحلول خلال بوتقة ترشيح رقم ٤ سبق وزنها من قبل.
٩. أغسل الراسب بمحلول مخفف من حمض النتريك.
١٠. ضع البوتقة و بداخلها الراسب في فرن التجفيف عند ٢٠٠ درجة مئوية لمدة ٤٥ دقيقة.
١١. أخرج البوتقة من الفرن و ضعها في المجفف لمدة ٢٠ دقيقة حتى تبرد تماما و أوزن الراسب.
١٢. أحسب النسبة المئوية للكوريد في العينة المعطاه لك.

النتائج:

وزن البوتقة + كلوريد الصوديوم =

وزن البوتفة فارغة =

وزن كلوريد الصوديوم =

وزن البوتقة + كلوريد الفضة =

وزن البوتقة فارغة =

وزن كلوريد الفضة =

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. اذكر خطوات التحليل الوزني.

٢. أحسب المعمل الوزني فيما يلي:

م.	المادة المراد تقديرها	الراسب
أ	P	Ag_3PO_4
ب	K_2HPO_4	Ag_3PO_4
ج	Bi_2S_3	$BaSO_4$

٣. تم تقدير أيون الفوسفات PO_4^{3-} بعد ترسيبه على شكل مركب $(NH_4)_3PO_4.12MoO_3$. وزن العينة يساوي ٠,٢٧١١ جرام و وزن الراسب يساوي ١,١٦٨٢ جرام. احسب النسبة المئوية للفوسفور P في العينة.

إجابة الامتحان الذاتي

١. خطوات التحليل الوزني هي:

١. المعالجة المبدئية.
٢. الترسيب.
٣. الترشيح.
٤. التجفيف أو الحرق.
٥. الوزن.
٦. الحسابات.

٢. (أ) ٠,٠٤٣٥٤ ، (ب) ٠,١٩١٣٥ ، (ج) ٠,٧٣٤٢٩.

٣. ٧,١١١ ٪.

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

الكشف عن الشقوق القاعدية (الكاتيونات)

الجدارة:

بعد الانتهاء من هذه الوحدة يكون الطالب قادرا على الكشف عن الشقوق القاعدية للأملاح البسيطة.

الأهداف:

أن يكون الطالب قادراً على تنفيذ تجارب الكشف عن الكاتيونات في الأملاح البسيطة و استنتاج وجود أو عدم وجود هذه الكاتيونات في المجاهيل.

الوقت المتوقع:

١٠ ساعات.

متطلبات الجدارة:

١. مقرر "نظم وتقنيات مختبرية".
٢. مقرر "الآمان والسلامة في المختبرات الكيميائي".
٣. مقرر "الكيمياء العامة".

الكشف عن الشقوق القاعدية (الكاتيونات)

١. مقدمة:

التحليل النوعي هو أحد أقسام الكيمياء التحليلية العملية و هدفه الرئيسي هو الكشف عن مكونات عينة ما معتمدا أساسا على خواصها الكيمائية أو الفيزيائية. ينقسم هذا النوع من التحليل الكيميائي إلى فرعين: تحليل المركبات الغير عضوية و تحليل المركبات العضوية. في هذا الجزء سنتعرف على طرق الكشف عن كاتيونات (الشقوق القاعدية) و آنيونات (الشقوق الحامضية) الأملاح البسيطة و المخاليط للمواد غير العضوية. و هناك العديد من الاختبارات التي تجرى على العينة و هي:

١. اللون.
٢. اختبار الذوبانية.
٣. الاختبارات الرطبة.
٤. الاختبارات الجافة.

أ ـ اللون:

قد يفيد في أخذ فكرة مبدئية عن الملح كما هو موضح في الجدول (٦ ـ ١):

الجدول (٦ ـ ١): العلاقة بين لون الملح و العنصر المحتمل

لون الملح أو محلوله	العنصر المحتمل
أزرق قاتم	احتمال وجود نحاس
أخضر باهت	احتمال وجود الحديدوز
أخضر	احتمال وجود نحاس أو نيكل
أخضر قاتم	احتمال وجود كروم
أصفر	احتمال وجود حديديك
لون البشرة	احتمال وجود منجنيز
أحمر وردي	احتمال وجود كوبلت

ب ـ اختبار الذوبانية:

تذوب كمية صغيرة من الملح في كمية مناسبة من الماء و ينتج محلولا شفافا (في حالة كون الملح قابل للذوبان). و الجدول التالي يوضح المركبات الشائعة الذوبان في الماء:

الجدول (٦-٢): قابلية ذوبان المركبات في الماء

المركبات	القابلية للذوبان
المركبات التي تذوب في الماء	
الكلوريدات، البروميدات و اليوديدات	كلها تذوب في الماء فيما عدا أملاح Ag^{+}، Hg_2^{2+} و Pb^{2+} - كلوريد و بروميد الرصاص يذوب في الماء الساخن – كلوريدات البزموث و الأنتمون يصعب إذابتها في الماء
البيكربونات	كلها تذوب في الماء
الكبريتات	كلها تذوب في الماء فيما عدا كبريتات Ba^{2+} و Sr^{2+} - أما كبريتات Pb^{2+} و Ca^{2+} فهي قليلة الذوبان في الماء
النتريتات	كلها تذوب في الماء فيما عدا نتريت Ag^{+}
النترات	كلها تذوب في الماء
الكلورات	كلها تذوب في الماء
المركبات التي لا تذوب في الماء (شحيحة الذوبان)	
المركبات	القابلية لذوبان
الكربونات	لا تذوب في الماء فيما عدا كربونات Na^{+} و K^{+} و NH_4^{+}
الفوسفات و الأوكسالات	لا تذوب في الماء فيما عدا أملاح Na^{+} و K^{+} و NH_4^{+}
الكبريتات	لا تذوب في الماء فيما عدا كبريتات الفلزات القلوية
الكبريتيدات	لا تذوب في الماء فيما عدا كبريتيدات Na^{+} و K^{+} و NH_4^{+} و Ca^{2+} و Sr^{2+} و Ba^{2+}
الأكسيدات و الهيدروكسيدات	لا تذوب في الماء فيما عدا مركبات Na^{+} و K^{+} - أما هيدروكسيدات Ca^{2+} و Sr^{2+} و Ba^{2+} فهي قليلة الذوبان في الماء

ج- الاختبارات الرطبة Wet tests:

تجرى على محاليل العينات و يمكن أن ينتج عنها:

١. تكون راسب ذو لون معين.

٢. تغير لون المحلول.

٣. تصاعد غاز يمكن التعرف عليه من خلال رائحته أو لونه.

د: الاختبارات الجافة Dry tests:

تجرى على المادة الصلبة مثل إحراقها على موقد بنزن Bunsen burner أو بغمس طرف من البلاتين في محلول العينة و وضعه في اللهب حيث ينتج إشعاع ذو لون معين للعنصر المراد كشفه.

و تمتاز الكاتيونات بصفات مشتركة كما تمتاز الآنيونات بصفات مشتركة تختلف عن الكاتيونات و لذا تختلف طرق الكشف من مجموعة إلى أخرى.

٢. توزيع الكاتيونات:

صنفت الكاتيونات الشائعة إلى ستة مجموعات (الجدول ٦ ـ٣) و كل مجموعة تمتاز بكاشفها الخاص بها و الذي يرسب كل الأيونات التي تحتويها و يسمى هذا الكاشف بكاشف المجموعة Group reagent، أما الكواشف التي تستعمل أثناء التجارب التأكيدية التي تجرى للتعرف عن أيونات مجموعة ما، فهي تسمى بالكواشف النوعية Specific reagents. و يجب الملاحظة أن كاتيونات كل مجموعة لا تتفاعل مع كواشف المجموعة السابقة و لكن يمكن أن تتفاعل مع كواشف المجموعات التالية. و يجب إتباع خطوات الكشف كما هو موضح هنا لكي تتم عملية الكشف بنجاح.

١. قبل الكشف عن كاتيونات أي مجموعة لابد من تنظيف أنابيب الاختبار و هذا باستعمال فرشة تنظيف الأنابيب و ماء و صابون. كما تنظف الأنابيب المستعملة في نهاية كل حصص العملي.
٢. يجب الكشف عن المجموعات الست حسب الترتيب المذكور كما يجب إتباع طرق العمل بدقة للحصول على نتائج صحيحة.
٣. ضع في الأنبوبة النظيفة محلول العينة و أضف محلول كاشف المجموعة و إذا لم يحدث أي شيء انتقل إلى المجموعة التالية أما إذا تكون راسب فأجر التجارب التأكيدية مستعملاً جدول الكشف المناسب.

الجدول (٦ ـ ٣): جدول توزيع الكاتيونات

المجموعة	الكاتيونات	كاشف المجموعة	الصفات المشتركة
الأولى	فضة ، زئبقوز ، رصاص	حمض الهيدروكلوريك المخفف	كلوريدراتها لا تذوب في حامض الهيدروكلوريك
الثانية	زئبقيك، نحاس، بزموث كادميوم، زرنيخ، أنتمون	كبريتيد الهيدروجين في وسط حامضي (استخدام حامض الهيدروكلوريك)	كبريتيداتها لا تذوب في حامض الهيدروكلوريك و لكن كبريتيدات العناصر الثلاثة الأخيرة تذوب في محلول كبريتيد الأمونيوم
الثالثة	حديد ، ألمنيوم، كروم	كلوريد الأمونيوم و هيدروكسيد الأمونيوم	تترسب على هيئة هيدروكسيدات
الرابعة	خارصين، منجنيز، نيكل، كوبلت	كلوريد الأمونيوم، هيدروكسيد الأمونيوم و كبريتيد الهيدروجين (الترسيب في وسط قاعدى)	تترسب على هيئة كبريتيدات في الوسط القاعدي
الخامسة	كالسيوم، سترنشيوم، باريوم	كلوريد الأمونيوم هيدروكسيد الأمونيوم و كاربونات الأمونيوم و كذلك كشف اللهب	تترسب على هيئة كاربونات تذوب في الحوامض المعدنية
السادسة	أمونيوم، صوديوم، بوتاسيوم، مغنيسيوم	ليس لها كاشف معين	لا تتكون رواسب ماعدا المغنيسيوم

التجربة رقم (١): الكشف عن كاتيونات المجموعة الأولى Ag+ , Hg22+, Pb2+

١. الخلفية النظرية:

تتميز أيونات هذه المجموعة بتكوينها كلوريدات غير ذائبة عند معاملة محاليلها مع حامض الهيدروكلوريك المخفف، و هذه الأيونات هي الفضة Ag^{+} الرصاص Pb^{2+}، الزئبقوز Hg_2^{2+}.

معظم أملاح الرصاص لا تذوب في الماء ما عدا النترات و الخلات لكن جميع أملاح الرصاص تذوب في حامض النتريك المخفف ماعدا الكبريتات.

- كاشف المجموعة: حمض الهيدروكلوريك المخفف HCl.
- هيئة الترسيب (المجموعة الأولى + الكاشف): كلوريدات (لون أبيض): كلوريد الرصاص $PbCl_2$، الفضة AgCl، الزئبقوز Hg_2Cl_2.
- ميزات المجموعة (الكلوريدات): كل الكلوريدات تذوب في الماء فيما عدا كلوريدات Ag^{+}، Pb^{2+} و Hg_2^{2+} - كلوريد Pb يذوب في الماء الساخن - كلوريد Bi و Sb يصعب إذابتها في الماء.

٢. الأمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

ضع محلول العينة في أنبوبة اختبار و أضف محلول HCl المخفف .

١. إذا لم يتكون راسب قم بتجارب المجموعة التالية.
٢. إذا كان الأيون ينتمي إلى المجموعة الأولى يتكون راسب أبيض. تعرف على الكاتيون من الجدول (٦ ـ ١ ـ ١).

الجدول (٦ ـ ١ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الأولى

التجارب	المشاهدة	الاستنتاج
الرصاص Pb^{2+}		
• محلول العينة + HCl $Pb^{2+} + 2Cl^- \rightarrow PbCl_2\downarrow$	راسب أبيض	كاتيون المجموعة الأولى
• محلول العينة + NaOH $Pb^{2+} + 2(OH)^- \rightarrow Pb(OH)_2\downarrow$ $Pb(OH)_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2PbO_3 + 2H_2O$	راسب أبيض يذوب في زيادة من الكاشف	احتمال و جود Pb^{2+}
• الراسب + ماء ساخن	يذوب الراسب	وجود Pb^{2+}
التجارب التأكيدية		
• محلول العينة + كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 $Pb^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow PbCrO_4\downarrow$	راسب أصفر	وجود Pb^{2+}
• العينة + حمض الكبريتيك H_2SO_4 $Pb^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4\downarrow$	راسب أبيض	وجود Pb^{2+}
الفضة Ag^+		
• محلول العينة + HCl $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl$	راسب أبيض يصبح بنفسجي عندما يتعرض لضوء الشمس	كاتيون المجموعة الأولى
• محلول العينة + NaOH $2AgNO_3 + 2NaOH \rightarrow Ag_2O\downarrow + 2NaNO_3 + H_2O$	راسب بني	احتمال وجود Ag^+
<u>التجارب التأكيدية</u>		
• محلول العينة + كرومات البوتاسيوم KCr_2O_4 $2Ag^+ + CrO_4^{2-} \rightarrow Ag_2CrO_4\downarrow$	راسب بني أحمر	وجود Ag^+
• محلول العينة + يوديد البوتاسيوم KI $Ag^+ + I^- \rightarrow AgI\downarrow$	راسب أصفر	وجود Ag^+

الجدول (٦ ـ ١ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الأولى (تابع)

الزئبقوز Hg_2^{2+}		
• محلول العينة + HCl $Hg_2^{2+} + 2Cl^- \rightarrow Hg_2Cl_2\downarrow$	راسب أبيض	كاتيون المجموعة الأولى
• محلول العينة + هيدروكسيد الصوديوم NaOH $Hg_2(NO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow Hg_2O\downarrow + 2NaNO_3 + H_2O$	راسب أسود	احتمال وجود Hg_2^{2+}
التجارب التأكيدية • محلول العينة + NH_4OH $Hg_2^{2+}+2NH_3+H_2O\rightarrow NH_4^{+}+[HgO.Hg(NH_2)]^{+}\downarrow+H_2$□	راسب أسود	وجود Hg_2^{2+}
• محلول العينة + كربونات الصوديوم Na_2CO_3 $Hg_2^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow Hg_2CO_3\downarrow$	راسب أصفر يتحول إلى رمادي قاتم	وجود Hg_2^{2+}

التجربة رقم (٢) : الكشف عن كاتيونات المجموعة الثانية $Sn^{2+}, Sn^{4+} Sb^{3+}, As^{3+}, Cd^{2+}, Bi^{3+}, Cu^{2+}, Hg^{2+}$

١. الخلفية النظرية :

تتميز معادن هذه المجموعة بالإضافة إلى المجموعة الأولى بترسبها على هيئة كبريتيدات بواسطة غاز H_2S من محاليلها الساخنة المحمضة بحامض HCl وبعبارة أخرى يمكن القول بأن كبريتيداتها لا تذوب في حمض الهيدروكلوريك المخفف، تتضمن هذه المجموعة الزئبق الثنائي (الزئبقيك)، البزموث، النحاس، الكادميوم و الزرنيخ، الأنتيمون والقصدير. تنقسم معادن المجموعة الثانية إلى مجموعتين فرعيتين، المجموعة الفرعية (٢أ) أو مجموعة النحاس: تشمل الزئبق الثنائي، النحاس و الكادميوم، كبريتيدات هذه المعادن لا تذوب في كبريتيد الأمونيوم الأصفر. المجموعة الفرعية (٢ب) أو مجموعة الزرنيخ: تشمل الزرنيخ، الانتيمون والقصدير حيث أن كبريتيداتها تذوب في كبريتيد الأمونيوم الأصفر.

- كاشف المجموعة: كبريتيد الهيدروجين H_2S + حمض الهيدروكلوريك المخفف HCl.
- هيئة الترسيب: كبريتيدات ذات ألوان مختلفة: كبريتيد الزئبقيك (أسود) HgS، كبريتيد النحاس (أسود) CuS، كبريتيد البزموث (بني) Bi_2S_3، كبريتيد الكادميوم (أصفر) CdS، كبريتيد الزرنيخ (أصفر) As_2S_3، كبريتيد الأنتمون (برتقالي) Sb_2S_3، كبريتيد القصديروز SnS_2.
- ميزات المجموعة (الكبريتيدات): لا تذوب في الماء فيما عدا كبريتيدات Na و K و NH_4 و Ca و Sr و Ba .

٢. الآمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

ضع محلول العينة في أنبوبة الاختبار و أضف HCl المخفف ثم أضف الثيوأستاميد المشبع ثم سخن المحلول (تدفئة) في حمام مائي.

١. إذا لم يتكون راسب أهمل المحلول و قم بتجارب المجموعة التالية.

٢. إذا ظهر راسب تعرف على المجموعة التي ينتمي إليها (الثانية "أ" أو الثانية "ب") بالطريقة التالية :اسكب جزء من الراسب و اختبر ذوبانيته في كبريتيد الأمونيوم الأصفر الساخن

$(NH_4)_2S$: إذ لم يذب الراسب فإن الكاتيون من المجموعة "٢أ" (تعرف عليه من الجدول ٦ ـ ٢ ـ ١) و إذا ذاب فهو من المجموعة "٢ب" (تعرف عليه من الجدول (٦ ـ ٢ ـ ٢).

الجدول (٦ ـ ٢ ـ ١): جدول الكشف عن المجموعة الثانية "٢أ"

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
النحاس Cu^{2+}		
• محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $Cu^{2+} + S^{2-} \rightarrow CuS\downarrow$	راسب أسود لا يذوب في HNO_3 المركز و لا يذوب في كبريتيد الأمونيوم الأصفر $(NH_4)_2S$	احتمال وجود Hg^{2+} أو Cu^{2+}
• محلول العينة + NaOH $Cu^{2+} + 2(OH)^- \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow$ $Cu(OH)_2\downarrow + 2NaOH \rightarrow Na_2CuO_3 + 2H_2O$	راسب أزرق لا يذوب في زيادة من الكاشف و يتحول لون الراسب إلى أسود بالتسخين	وجود Cu^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u>		
• محلول العينة + هيدروكسيد الأمونيوم	راسب أزرق أو **محلول أزرق**	وجود Cu^{2+}
• محلول العينة + يوديد البوتاسيوم KI $2Cu_2SO_4 + 4KI \rightarrow Cu_2I_2\downarrow + I_2 + 2K_2SO_4$	راسب بني	وجود Cu^{2+}

الجدول (٦ ـ ٢ ـ ١): جدول الكشف عن المجموعة الثانية "٢أ" (تابع)

التجارب	المشاهدة	الاستنتاج
الزئبقيك Hg^{2+}		
• محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $HgCl_2 + H_2S \rightarrow HgS\downarrow + 2HCl$	راسب أبيض يتحول إلى أسود لا يذوب في HNO_3 المركز و لا يذوب في كبريتيد الأمونيوم الأصفر $(NH4)_2S$	احتمال وجود Hg^{2+} أو Cu^{2+}
• محلول العينة + NaOH	راسب بني أحمر لا يذوب في زيادة من الكاشف	وجود Hg^{2+}
التجارب التأكيدية		
• محلول العينة + يوديد البوتاسيوم KI (قطرة قطرة) $HgCl_2 + 2KI \rightarrow HgI_2\downarrow + 2KCl$	راسب أحمر يذوب في زيادة من KI	وجود Hg^{2+}
• محلول العينة + كاربونات الصوديوم Na_2CO_3	راسب بنى أحمر	وجود Hg^{2+}
البزموث Bi^{3+}		
• محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $2Bi^{2+} + 3S^{2-} \rightarrow Bi_2S_3\downarrow$	راسب بني يذوب في حمض النتريك المخفف و لا يذوب في كبريتيد الأمونيوم الأصفر $(NH4)_2S$	كاتيون المجموعة الثانية "أ"
التجارب التأكيدية		
• محلول العينة + هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH	راسب أبيض	وجود +Bi3
• محلول العينة + يوديد البوتاسيوم KI (قطرة قطرة)	راسب أسود	وجود +Bi3
كادميوم Cd^{2+}		
• محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $Cd^{2+} + S^{2-} \rightarrow CdS\downarrow$	راسب أصفر يذوب في HCl المخفف و لا يذوب في كبريتيد الأمونيوم الأصفر $(NH4)_2S$	كاتيون المجموعة الثانية "أ"
التجارب التأكيدية		
• محلول العينة + NaOH $Cd^{2+} + 2(OH)^{-} \rightarrow Cd(OH)_2\downarrow$	راسب أبيض لا يذوب في زيادة من الكاشف NaOH	وجود Cd^{2+}
• محلول العينة + هيدروكسيد الأمونيوم	راسب أبيض	وجود Cd^{2}

الجدول (٦ ـ ٢ ـ ٢): جدول الكشف عن المجموعة الثانية "٢ب"

التجارب	المشاهدة	الاستنتاج
القصديروز Sn^{2+}		
• محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $Sn^{2+} + S^{2-} \rightarrow SnS\downarrow$	راسب بني يذوب في HCl المركز و في كبريتيد الأمونيوم الأصفر	احتمال وجود Sn^{2+}
التجارب التأكيدية • محلول العينة + كلوريد الزئبقيك $HgCl_2$	راسب أبيض يتحول إلى رمادي (خصوصا بالتدفئة) في زيادة من محلول Sn^{2+}	وجود Sn^{2+}
• محلول العينة +NaOH	راسب أبيض يذوب في زيادة من الكاشف	وجود Sn^{2+}
القصديريك Sn^{4+}		
• محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $SnCl_4 + 2H_2S \rightarrow SnS_2\downarrow + 4HCl$	راسب أصفر يذوب في HCl المركز و في كبريتيد الأمونيوم الأصفر أو العادي	احتمال وجود Sn^{4+}
التجارب التأكيدية • محلول العينة + كلوريد الزئبقيك $HgCl_2$	لا يتكون راسب	وجود Sn^{4+}
• محلول العينة + NaOH $SnCl_4 + 4NaOH \rightarrow Sn(OH)_4\downarrow + 4NaCl$ $Sn(OH)_4 + 2NaOH \rightarrow 3H_2O + Na_2SnO_3$	راسب أبيض جيلاتيني يذوب في زيادة من الكاشف	وجود Sn^{4+}
الأنتيمون Sb^{3+} • محلول العينة + HCl + ثيوأستاميد $2Sb^{2+} + 3S^{2-} \rightarrow Sb_2S_3\downarrow$	راسب أحمر برتقالي يذوب في HCl المركز بالتسخين	احتمال و جود Sb^{3+}
التجارب التأكيدية • محلول العينة + محلول يوديد البوتاسيوم KI	راسب أصفر	وجود Sb^{3+}
• محلول العينة + NaOH $4SbCl_3 + 12NaOH \rightarrow Sb_4O_6\downarrow + 12NaCl + 6H_2O$	راسب أبيض يذوب في محلول هيدروكسيد الصوديوم المركز	وجود Sb^{3+}

التجربة رقم (٣): الكشف عن كاتيونات المجموعة الثالثة Al3+, Cr3+, Fe2+, Fe3+

١. الخلفية النظرية:

تشتمل هذه المجموعة على المعادن التي تترسب على هيئة هيدروكسيدات عند معاملة محاليلها مع مخلوط $NH_4OH + NH_4Cl$ هذه المعادن هي الألمنيوم الكروم والحديد، كاشف المجموعة هو $NH_4Cl + NH_4OH$.

كاشف المجموعة: كلوريد الأمونيوم NH_4Cl + هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH.

هيئة الترسيب: هيدروكسيدات ذات ألوان مختلفة: هيدروكسيد الكروم (أخضر) $Cr(OH)_3$؛ هيدروكسيد الألمنيوم (أبيض) $Al(OH)_3$؛ هيدروكسيد الحديدوز (أخضر) $Fe(OH)_2$؛ هيدروكسيد الحديديك (بني) $Fe(OH)_3$.

ميزات المجموعة (الهيدروكسيدات): لا تذوب في الماء فيما عدا مركبات Na و K - أما هيدروكسيدات Ca و Sr و Ba فهي قليلة الذوبان في الماء.

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

١. أضف إلى محلول العينة محلول كلوريد الأمونيوم ثم ٣ مل من محلول هيدروكسيد الأمونيوم حتى يصبح المحلول قاعديا.
٢. إذا لم يتكون راسب أهمل المحلول و انتقل إلى المجموعة التالية أما إذا تكون راسب تعرف على الكاتيون من الجدول (٦ ـ ٣ ـ ١).

الجدول (٦ ـ ٣ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الثالثة

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
الحديدوز Fe^{2+}		
• محلول العينة + NH_4Cl + ٣ مل من NH_4OH $Fe^{2+} + 2(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow$	راسب **أخضر** يذوب في الأحماض و لا يذوب في NaOH	احتمال وجود Fe^{2+}
• محلول العينة + ٣ مل من NaOH $Fe^{2+} + 2(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow$	راسب **أخضر**	احتمال وجود Fe^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u>		
• محلول العينة + $K_4Fe(CN)_6$ $2Fe^{2+} + [Fe(CN)6]^{4-} \rightarrow Fe_2[Fe(CN)6]\downarrow$	راسب ذو لون **أبيض مزرق** (أزرق باهت)	وجود Fe^{2+}
• محلول العينة + $KMnO_4 + H_2SO_4$	يزول لون المحلول	وجود Fe^{2+}
الحديديك Fe^{3+}		
• محلول العينة + NH_4Cl + ٣ مل NH_4OH $Fe^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow$	راسب بني **أحمر** يذوب في الأحماض و لا يذوب في NaOH	احتمال وجود Fe^{3+}
• محلول العينة + ٤ مل من NaOH $Fe^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow$	راسب **بني جلاتيني** لا يذوب في زيادة من الكاشف	احتمال وجود Fe^{3+}
<u>التجارب التأكيدية</u>		
• محلول العينة +١مل من حديدو سيانيد البوتاسيوم $K_4Fe(CN)_6$	راسب **أزرق** غامق يذوب في زيادة من $K_4Fe(CN)_6$	وجود Fe^{3+}
• محلول العينة + ثيوسيانات الأمونيوم NH_4SCN	راسب **أحمر** قاتم	وجود Fe^{3+}

الجدول (٦ ـ ٣ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الثالثة (تابع)

التجارب	المشاهدة	الاستنتاج
ألمنيوم Al^{3+}		
• محلول العينة + NH_4Cl + ٣ مل من NH_4OH $Al^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Al(OH)_3\downarrow$	راسب أبيض جلاتيني يذوب في الأحماض و NaOH	احتمال وجود Al^{3+}
• محلول العينة + NaOH $Al^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Al(OH)_3\downarrow$	راسب أبيض جلاتيني يذو ب في زيادة من NaOH	احتمال وجود Al^{3}
التجارب التأكيدية		
• محلول العينة +١مل من فوسفات الصوديوم الحامضية Na_2HPO_4 $Al^{3+} + PO_4^{3-} \rightarrow AlPO_4\downarrow$	راسب أبيض جيلاتيني يذوب في الأحماض المعدنية ، في زيادة من الكاشف و لا يذوب في حامض الخليك	وجود Al^{3+}
• محلول العينة + كربونات الصوديوم Na_2CO_3	راسب أبيض يذوب في زيادة من الكاشف	وجود Al^{3+}
كروم Cr^{3+}		
• محلول العينة + NH_4Cl + ٣ مل من NH_4OH $Cr^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow$	راسب أخضر رمادي من هيدروكسيد الكروم يذوب في الأحماض المعدنية و NaOH	احتمال وجود Cr^{3+}
• محلول العينة + NaOH $Cr^{3+} + 3(OH)^- \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow$	راسب أخضر رمادي يذوب في زيادة من الكاشف	وجود Cr^{3+}
التجارب التأكيدية		
• محلول العينة + فوسفات الصوديوم الحامضية Na_2HPO_4 $Cr^{3+} + PO_4^{3-} \rightarrow AlPO_4\downarrow$	راسب أخضر	وجود Cr^{3+}
• محلول العينة + كربونات الصوديوم Na_2CO_3	راسب أخضر	وجود Cr^{3+}

التجربة رقم (٤): الكشف عن كاتيونات المجموعة الرابعة Ni^{2+}, Co^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}

١. الخلفية النظرية:

تشتمل هذه المجموعة على الزنك، المنجنيز، الكوبالت والنيكل. تترسب هذه الأيونات على هيئة كبريتيدات في وسط قاعدي كاشف هذه المجموعة هو: $(NH_4)_2S$ + NH_4OH + NH_4Cl.

- كاشف المجموعة: كبريتيد الهيدروجين H_2S أو كبريتيد الأمونيوم $(NH_4)_2S$ + هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH + كلوريد الأمونيوم NH_4Cl.
- هيئة الترسيب: كبريتيدات ذات ألوان مختلفة: كبريتيد الخارصين (أبيض) ZnS، كبريتيد المنجنيز (وردي) MnS، كبريتيد النيكل (أسود) NiS، كبريتيد الكوبلت (أسود) CoS.
- ميزات المجموعة (الكبريتيدات): لا تذوب في الماء فيما عدا كبريتيدات Na و K و NH4 و Ca و Sr و Ba .

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

أضف إلى محلول العينة كلوريد الأمونيوم NH_4Cl، ثم أضف هيدروكسيد الأمونيوم $NH_4(OH)$ ثم أضف محلول من ثيوأستاميد Thyoacetamide و أخيرا سخن.

١. إذ لم يتكون راسب أهمل المحلول و انتقل إلى المجموعة التالية.

٢. إذا تكون راسب تعرف على الكاتيون من الجدول (٦ ـ ٤ ـ ١).

الجدول (٦ ـ ٤ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الرابعة

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
الخارصين Zn^{2+}		
• محلول العينة + $NH_4OH + NH_4Cl$ + ثيوأستاميد $Zn^{2+} + S^{2-} \rightarrow ZnS\downarrow$	راسب أبيض يذوب في الأحماض المعدنية و لا يذوب في حمض الخليك المركز	احتمال وجود Zn^{2+}
التجارب التأكيدية • محلول العينة + $NaOH$	راسب أبيض جيلاتيني يذوب في زيادة من الكاشف $NaOH$	وجود Zn^{2+}
• محلول العينة + NH_4OH	راسب أبيض جيلاتيني يذوب في زيادة من الكاشف NH_4OH.	وجود Zn^{2+}
المنجنيز Mn^{2+}		
• محلول العينة + $NH_4OH + NH_4Cl$ + ثييوأسيتاميد $Mn^{2+} + S^{2-} \rightarrow MnS\downarrow$	راسب أبيض وردي يشبه لون لحم الدجاج يذوب في حمض الخليك و الأحماض المعدنية	احتمال وجود Mn^{2+}
التجارب التأكيدية • محلول العينة + $NaOH$ $MnCl_2 + 2NaOH \rightarrow Mn(OH)_2\downarrow + 2NaCl$ $2Mn(OH)_2 + O_2 \rightarrow 2MnO(OH)_2\downarrow$	راسب أبيض يتحول إلى بني عند تعرضه للهواء	وجود Mn^{2+}
• محلول العينة + NH_4OH	راسب أسود يتحول إلى بني عند تعرضه للهواء	وجود Mn^{2+}

الجدول (٦ ـ ٤ ـ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الرابعة (تابع)

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
الكوبلت Co^{2+}		
• محلول العينة + $NH_4OH + NH_4Cl$ + ثييوأسيتاميد $Co^{2+} + S^{2-} \rightarrow CoS\downarrow$	راسب **أسود** يذوب في الأحماض المعدنية و لا يذوب في حمض الخليك المركز	احتمال وجود Co^{2+} أو Ni^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u> • محلول العينة + $NaOH$ $Co(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow Co(OH)NO_3\downarrow + NaNO_3$	راسب أزرق يتحول معظمه إلى محلول وردي	وجود Co^{2+}
• محلول العينة + هيدروكسيد الأمونيوم	راسب أزرق	وجود Co^{2+}
النيكل Ni^{2+}		
• محلول العينة + $NH_4OH + NH_4Cl$ + ثييوأسيتاميد $Ni^{2+} + S^{2-} \rightarrow NiS\downarrow$	راسب **أسود** يذوب في الأحماض المعدنية و لا يذوب في حمض الخليك المركز	احتمال وجود Co^{2+} أو Ni^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u> • محلول العينة + $NaOH$ $Ni(NO_3)_2 + NaOH \rightarrow Ni(OH)NO_3\downarrow + NaNO_3$	راسب **أخضر** لا يذوب في زيادة من الكاشف	وجود Ni^{2+}
• محلول العينة + NH_4OH $NiCl_2 + NH_4OH \rightarrow Ni(OH)Cl + NH_4Cl$ $Ni(OH)Cl\downarrow + 7NH_4OH \rightarrow NH_4Cl + Ni(NH_3)_6(OH)_2 + 6H_2O$	راسب **أخضر** يذوب في زيادة من NH_4OH و في حالة وجود أملاح NH_4^+ يتكون محلول أزرق	وجود Ni^{2+}
• محلول العينة + DMG* $NiCl_2 + 2HDMG \rightarrow Ni(DMG)_2\downarrow + 2HCl$	راسب أحمر	وجود Ni^{2+}

• DMG = ثنائي مثيل جليوكزيم Dimethyl glyoxime

التجربة رقم (٥): الكشف عن كاتيونات المجموعة الخامسة Ba2+, Sr2+, Ca2+

١. الخلفية النظرية:

تشتمل هذه المجموعة على المعادن الثلاثة القلوية الأرضية: الكالسيوم، السترونشيوم و الباريوم. كاشف المجموعة هو كربونات الأمونيوم الذي يرسّب كاربونات هذه المعادن في المحلول الامونياكي حتى في وجود NH4Cl.

ـ كاشف المجموعة: كلوريد الأمونيوم NH_4Cl + هيدروكسيد الأمونيوم $NH_4(OH)$ + كاربونات الأمونيوم $(NH_4)_2CO_3$.

ـ هيئة الترسيب: كاربونات (لون أبيض): كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$، كاربونات الباريوم $BaCO_3$، كاربونات السترونشيوم $SrCO_3$.

ـ ميزات المجموعة (الكربونات): لا تذوب في الماء فيما عدا كربونات Na و K و NH_4.

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع القواعد العامة للسلامة.
٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

ضع محلول العينة في أنبوبة اختبار، أضف كلوريد الأمونيوم NH_4Cl ، ثم أضف هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH حتى يصبح المحلول قاعديا، و أخيرا أضف ١مل من كاربونات الأمونيوم $(NH_4)_2CO_3$.

١. إذ لم يتكون راسب أهمل المحلول و انتقل إلى المجموعة التالية.
٢. إذا تكون راسب تعرف على الكاتيون من الجدول (٦ ـ ٥ ـ ١).

الجدول (٦ ـ ٥ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الخامسة

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
الكالسيوم Ca^{2+}		
• محلول العينة + NH_4Cl + NH_4OH + $(NH_4)_2CO_3$ $Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3\downarrow$	راسب **أبيض** يذوب في حمض الخليك و الأحماض المعدنية	كاتيون المجموعة الخامسة
• محلول العينة + كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$	لا يتكون راسب	احتمال وجود Ca^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u>		
• محلول العينة + كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4	لا يتكون راسب	وجود Ca^{2+}
❖ **اختبار اللهب** • غمس طرف سلك من البلاتين في محلول الملح في لهب موقد بنزن Bunsen	لون **أحمر طوبي**	وجود Ca^{2+}
السترونشيوم Sr^{2+}		
محلول العينة + NH_4Cl + NH_4OH + $(NH_4)_2CO_3$ $Sr^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow SrCO_3\downarrow$	راسب **أبيض** يذوب في الأحماض المعدنية المخففة	كاتيون المجموعة الخامسة
• محلول العينة + كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ $Sr^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow SrSO_4\downarrow$ ☐	يتكون تدريجيا في زيادة من الكاشف راسب **أبيض** خفيف تزداد كميته بعد التسخين (الغليان)	احتمال وجود Sr^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u>		
محلول العينة + كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 $Sr^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow SrCrO_4\downarrow$	راسب **أصفر** بعد التسخين يذوب في الأحماض المخففة و نسبيا في حمض الخليك	وجود Sr^{2+}
❖ **اختبار اللهب** • غمس طرف سلك من البلاتين في محلول الملح و ضعه فوق لهب موقد بنزن Bunsen	لون **أحمر قرمزي**	وجود Sr^{2+}

الجدول (٦ ـ ٥ ـ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة الخامسة (تابع)

الباريوم Ba^{2+} محلول العينة + $(NH_4)_2CO_3$ + NH_4OH + NH_4Cl $Ba^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow BaCO_3\downarrow$	راسب أبيض يذوب في الأحماض المعدنية المخففة	كاتيون المجموعة الخامسة
• محلول العينة + كبريتات الكالسيوم $CaSO_4$ $Ba^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow BaSO_4\downarrow$	راسب أبيض كثيف (فورا)	احتمال وجود Ba^{2+}
<u>التجارب التأكيدية</u> • محلول العينة + كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 $Ba^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow BaCrO_4\downarrow$	راسب أصفر كثيف يذوب في الأحماض المخففة ولا يذوب في حمض الخليك.	وجود Ba^{2y}
❖ **اختبار اللهب** • غمس طرف سلك من البلاتين في محلول الملح و ضعه في موقد بنزن Bunsen	لون أخضر تفاحي	وجود Ba^{2+}

التجربة رقم (٦) : الكشف عن المجموعة السادسة NH4+, K+, Na+, Mg2+

١. الخلفية النظرية :

تتصف هذه المجموعة بعدم ترسب معادنها بواسطة أي من كواشف المجموعات السابقة و ليس هناك كاشف مشترك لهذه المجموعة. هذه المعادن هي: المغنسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، و الأمونيوم، ليس لهذه الكاتيونات كاشف معين بل إن كل كاتيون يتم اختباره بصورة منفصلة.

٢. الآمان و السلامة :

١. راجع القواعد العامة للسلامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة :

خطوات الكشف عن كاتيونات هذه المجموعة موضحة في الجدول (٦ ـ ٦ ـ ١).

الجدول (٦ ـ ٦ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة السادسة

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
الأمونيا NH_4^+ • محلول العينة + هيدروكسيد الصوديوم NaOH + تسخين $NH_4Cl + NaOH \rightarrow NH_3\uparrow + NaCl + H_2O$	يتصاعد غاز الأمونيا الذي يعرف من رائحته المميزة أو بتكونه لسحب بيضاء عند تعرضه لساق مبللة بحمض HCl	وجود أيون الأمونيا NH_4^+
• أضف بعض قطرات من محلول نسلر :$(HgCl_2+KI)$ Nessler's Reagent إلى محلول العينة	راسب بني أو أصفر حسب تركيز الأمونيا	وجود أيون الأمونيا NH_4^+
• محلول العينة + محلول كوبلتي نتريت الصوديوم $Na_3Co(NO_2)_6$	يتكون راسب أصفر من كوبلتي نتريت الأمونيوم	وجود أيون الأمونيا NH_4^+

الجدول (٦ ـ ٦ ـ ١): جدول الكشف عن كاتيونات المجموعة السادسة (تابع)

الكشف عن الكاتيونات	المشاهدة	الاستنتاج
المغنيسيوم Mg^{2+}		
• العينة + هيدروكسيد الصوديوم NaOH $MgCl_2 + 2NaOH \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2NaCl$	يتكون راسب أبيض من هيدروكسيد المغنيسيوم لا يذوب في زيادة من محلول الكاشف و لكن يذوب في محلول كلوريد الأمونيوم NH_4Cl	وجود Mg^{2+}
• العينة + كربونات الصوديوم Na_2CO_3 $Mg^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow MgCO_3\downarrow$	راسب أبيض من كاربونات المغنيسيوم	وجود Mg^{2+}
الصوديوم Na^+		
• العينة + كبلتي نتريت الصوديوم $Na_3Co(NO_2)_6$	لا يتكون راسب	وجود Na^+
❖ اختبار اللهب • غمس طرف سلك من البلاتين في محلول العينة و ضعه في لهب موقد بنزن Bunsen	لون أصفر ذهبي	وجود Na^+
البوتاسيوم K^+		
• العينة + كبلتي نتريت الصوديوم $Na_3Co(NO_2)_6$ $Na_3Co(NO_2)_6 + 3KCl \rightarrow K_3Co(NO_2)_6\downarrow + 3NaCl$	يتكون راسب أصفر هو كوبلتي نتريت البوتاسيوم لا يذوب في حمض الخليك المخفف CH_3COOH	وجود K^+
• العينة + حمض البيروكلوريك $HClO_4$ $K^+ + ClO_4^- \rightarrow KClO_4$	راسب أبيض	وجود K^+
❖ اختبار اللهب • غمس طرف سلك من البلاتين في محلول العينة و ضعه في لهب موقد بنزن Bunsen	لون بنفسجي	وجود K^+

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. بالاستعانة بالتحليل غير العضوي كيف يمكنك التميز بين محلولي نترات الرصاص و نترات النيكل ؟

٢. أكمل الجدول التالي:

المركب	الذوبانية
البيكربونات	....
الكبريتات	....
النتريتات	....
النترات	....
الكلورات	....

٣. اشرح طريقة إجراء الاختبار الجاف.

٤. أكتب الصيغة الكيميائية لكلوريد الزئبقوز و كلوريد الزئبقيك.

إجابة الامتحان الذاتي

١. راسب أبيض Pb^{2+} + HCl (dil.)

لا يتكون راسب Ni^{2+} + HCl (dil.)

أو بالطريقة التالية :

راسب أبيض Pb^{2+} + NaOH (dil.)

راسب أخضر Ni^{2+} + NaOH (dil.)

راسب أحمر غامق Ni^{2+} + DMG

٢.

المركب	الذوبانية
البيكربونات	كلها تذوب في الماء
الكبريتات	كلها تذوب في الماء فيما عدا كبريتات Ba^{2+} و Sr^{2+} - أما كبريتات Pb^{2+} و Ca^{2+} فهي قليلة الذوبان في الماء
النتريتات	كلها تذوب في الماء فيما عدا نتريت Ag^{+}
النترات	كلها تذوب في الماء
الكلورات	كلها تذوب في الماء

٣. يجرى الاختبار الجاف على المادة الصلبة مثل إحراقها على موقد بنزن Bunsen burner أو بغمس طرف من البلاتين في محلول العينة و وضعه في اللهب حيث ينتج إشعاع ذو لون معين للعنصر المراد كشفه.

٤. كلوريد الزئبقوز: Hg_2Cl_2 ، كلوريد الزئبقيك: $HgCl_2$.

أساسيات الكيمياء التحليلية (عملي)

الكشف على الشقوق الحامضية (الآنيونات)

الكشف على الشقوق الحامضية (الآنيونات)

٧

الجدارة:

أن يكون الطالب قادراً على الكشف عن آنيونات الأملاح البسيطة.

الأهداف:

بعد الانتهاء من هذه الوحدة يكون الطالب قادر على:

١. تنفيذ التجارب الخاصة بالكشف على آنيونات المجموعة (أ-١)، أ-٢) و (ب).

٢. التوصل لاستنتاج آنيونات المجموعة (أ-١)، (أ-٢) و (ب).

الوقت المتوقع:

٤ ساعات.

متطلبات الجدارة:

١. مقرر نظم وتقنيات مختبرية.

٢. مقرر الأمان والسلامة في المختبرات الكيميائية.

٣. مقرر الكيمياء العامة.

الكشف على الشقوق الحامضية (الآنيونات)

١. مقدمة :

تقسم الشقوق الحامضية (الآنيونات) الشائعة إلى مجموعتين: المجموعة "أ" و المجموعة "ب" (الجدول ٧ ـ ١) حسب تفاعلاتها مع الأحماض المعدنية المخففة أو المركزة أو كواشف أخرى. و تتقسم المجموعة "أ"إلى مجموعتين: "مجموعة حمض الهيدروكلوريك" و "مجموعة حمض الكبريتيك" كما تتقسم المجموعة "ب" إلى مجموعتين كذلك: "مجموعة الترسيب" و "مجموعة الأكسدة و الاختزال".

الجدول (٧ ـ ١): توزيع الشقوق الحامضية (الآنيونات)

المجموعة	الآنيونات	كاشف المجموعة	المشاهدة
المجموعة "أ"	**مجموعة حمض الهيدروكلوريك (أ ـ ١)** الكربونات CO_3^{2-}، البيكربونات HCO_3^-، الكبريتيتات SO_3^{2-}، الثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$، الكبريتيدات S^{2-}، النتريت NO_2^-، الهيبوكلورات $HClO^-$، السيانيدات CN^- و السيانات CNO^-	حمض الهيدروكلوريك HCl المخفف أو حامض الكبريتيك المخفف	تصاعد غازات مختلفة اللون و الرائحة
	مجموعة حمض الكبريتيك (أ ـ ٢) الكلوريدات Cl^-، البروميدات Br^-، اليوديدات I^-، النترات NO_3^{2-}، الكلورات ClO_3^-، البيروكلورات، البرومات Br^-، الثيوسيانات	حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4	تصاعد غازات مختلفة اللون و الرائحة
المجموعة "ب"	**مجموعة الترسيب (ب – ١)** الكبريتات، الفوسفات، الفوسفيت، الزرنيخات، الزرنيخيت، البورات. **مجموعة الأكسدة و الاختزال (ب – ٢)** المنجنات، البرمنجنات، الكرومات، البيكرومات	ليس لها كاشف معين	لا تتفاعل هذه المجموعة مع كل من حامضي الهيدروكلوريك المخفف و الكبريتيك المركز

التجربة رقم (١): الكشف على آنيونات المجموعة الفرعية (أ.١)

١. الخلفية النظرية:

يطلق على آنيونات هذه المجموعة: مجموعة حامض الهيدروكلوريك المخفف وتشمل هذه المجموعة أملاح الآنيونات التالية: تشتمل هذه المجموعة على آنيونات: الكربونات CO_3^{2-}، البيكربونات HCO_3^-، الكبريتيدات S^{2-}، الكبريتيتات SO_3^{2-}، الثيوكبريتيتات $S_2O_3^{2-}$ و النتريت NO_2^-، السيانيد CN^- و السيانات CNO^-. كاشف المجموعة هو حمض الهيدروكلوريك المخفف.

جميع الكربونات عدا المعادن القلوية و الأمونيوم تذوب قليلاً أو بصعوبة في الماء طبقاً لذلك فإن تفاعلاتها في المحاليل يمكن تنفيذها فقط في حالة الأملاح الذائبة.

البكربونات هي الأملاح الحمضية كحمض الكربونيك و جميع البيكربونات ذائبة في الماء وتعطي تفاعلات مختلفة عن البكربونات بعض العينات التجارية للبيكربونات تحتوي على شوائب من الكربونات لذا فإنها تعطي تفاعلات الكربونات.

جميع الكبريتيت تذوب قليلاً في الماء عدا كبريتيت المعادن القلوية و كبريتيت الأمونيوم.

ثيوكبريتات الصوديوم تذوب بسهولة في الماء، الثيوكبريتات الأخرى تذوب قليلاً في الماء.

جميع الكبريتيدات عدا كبريتيدات المعادن القلوية، المعادن القلوية الأرضية وكذلك كبريتيد الأمونيوم، تذوب بشكل قليل في الماء جميع النتريت ذائبة في الماء عدا نتريت الفضة.

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع قواعد السلامة العامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

١. تحضير العينة: ذوب كمية صغيرة من المجهول (مادة صلبة) في كأس.

٢. التجربة الأولية (محلول الملح + حمض الهيدروكلوريك المخفف): أضف حمض الهيدروكلوريك المخفف إلى محلول العينة في أنبوبة الاختبار. إذا كان الشق الحامضي من المجموعة الأولى تتحصل على النتائج التالية (الجدول ٧ ـ ١ ـ ١) فاجري التجارب التأكيدية (الجداول ٧ ـ ١ ـ ٢ حتى ٧ ـ ١ ـ ٦) . و إذ لم يكن الآنيون من المجموعة الأولى انتقل إلى المجموعة التالية.

☠ ينتج عن بعض التجارب خلال الكشف عن الآنيونات أبخرة سامة جدا (اليود، البروم، أكاسيد النتروجين، الخ...) و لذلك يجب إجراء كل التجارب في خزانة الغازات.

الجدول (٧ ـ ١ ـ ١): الكشف عن آنيونات المجموعة الأولى

التجربة و المشاهدة	المشاهدة	الاستنتاج
الكربونات CO_3^{2-} و البيكربونات HCO_3^- • محلول العينة + HCl المخفف + مرر الغاز في محلول الجير $Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$ $NaHCO3 + HCl \rightarrow NaCl + H2O + CO_3\uparrow$ $CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$	فوران و أزيز يصاحبه تصاعد غاز $CO_2\uparrow$ عديم اللون يعكر ماء الجير إذا امرر الغاز في محلول $Ca(OH)_2$	احتمال وجود CO_3^{2-} أو HCO_3^- (انظر إلى التجارب التأكيدية للتفرقة بينهما)
الثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$ • محلول العينة + HCl المخفف + امرر الغاز على ورقة مبللة بـ ثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ محمضة $Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow SO_2\uparrow + 2NaCl + S\downarrow + H_2O$	يتصاعد غاز ثنائي أكسيد الكبريت و يترسب الكبريت (لون أصفر) و يحول الغاز لون الورقة من اللون الأصفر إلى عديم اللون	احتمال وجود $S_2O_3^{2-}$ (اجري التجارب التأكيدية)
الكبريتيت SO_3^{2-} • محلول العينة + HCl المخفف + مرر الغاز على ورقة مبللة بـ ثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ محمضة $Na_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2\uparrow + H_2O$	يتصاعد غاز ثنائي أكسيد الكبريت الذي يمتاز برائحة خانقة و نافذة و تتحول الورقة من اللون الأصفر إلى اللون الأخضر	احتمال وجود SO_3^{2-} (اجري التجارب التأكيدية)
الكبريتيد S^{2-} • محلول العينة + HCl المخفف + امرر الغاز على و رقة مبللة بمحلول خلات الرصاص $Na_2S + 2HCl \rightarrow H_2S\uparrow + 2NaCl$ $Na_2S + (CH_3COO)_2Pb \rightarrow PbS\downarrow + 2CH_3COONa$ □	يتصاعد غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S ذو الرائحة الكريهة التي تشبه رائحة البيض الفاسد و سوف تسود الورقة لتكون كبريتيد الرصاص الأسود اللون	احتمال وجود S^{2-} (اجري التجارب التأكيدية في صفحة ٢٠)
النتريت NO_2^- • محلول العينة + HCl المخفف + امرر الغاز على ورقة مبللة بالنشادر و يوديد البوتاسيوم $NaNO_2 + HCl \rightarrow NaCl + HNO_2$ $3HNO_2 \rightarrow HNO_3 + 2NO + H_2O$ $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$	يصبح لون المحلول أزرق خفيف و يتصاعد غاز NO_2 بني اللون و يتحول لون الورقة إلى أزرق	احتمال وجود نتريت NO_2- (اجري التجارب التأكيدية)

الجدول (٧ ـ ١ ـ٢): التجارب التأكيدية لآنيونات المجموعة الأولى: الكربونات CO_3^{2-} و البيكربونات HCO_3^-

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + محلول كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4$ $Na_2CO_3 + MgSO_4 \rightarrow MgCO_3 + Na_2SO_4$	على البارد :راسب أبيض ← CO_3^{2-} بعد التسخين: راسب أبيض ← HCO_3^-
• محلول العينة + محلول كلوريد الزئبقيك $HgCl_2$ $Na_2CO_3 + HgCl_2 \rightarrow HgCO_3\downarrow + 2NaCl$	على البارد :راسب بني محمر ← CO_3^{2-} بعد التسخين:راسب بني محمر ← HCO_3^-

الجدول (٧ ـ ١ ـ ٣): التجارب التأكيدية لآنيونات المجموعة الأولى: الكبريتيت SO_3^{2-}

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + نترات الفضة $AgNO_3$ $Na_2SO_3 + \downarrow + 2AgNO_3 \rightarrow 2NaNO_3 + Ag_2SO_3\downarrow$ $Ag_2SO_3 + Na_2SO_3 \rightarrow 2Na[AgSO_3]$ $2Ag_2SO_3 \rightarrow 2Ag\downarrow + Ag_2SO_4 + SO_2$	راسب أبيض يذوب في مزيد من محلول الكبريتيك. عند غليان الراسب يتحول لون هذا الأخير إلى رمادي
• محلول العينة + خلات الرصاص $(CH_3COO)_2Pb$ $Na_2SO_3 + (CH_3COO)_2Pb \rightarrow PbSO_3\downarrow + 2CH_3COONa$	راسب كبريتيت الرصاص الأبيض يذوب في حمض النتريك المخفف
محلول العينة + محلول اليود	يزول لون اليود

الجدول (٧ ـ ١ ـ ٤): التجارب التأكيدية لآنيونات المجموعة الأولى: الكبريتيد S^{2-}

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + نترات الفضة $AgNO_3$ $Na_2S + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2NaNO_3$	راسب أسود Ag_2S يذوب في حمض النتريك المخفف
• العينة + خلات الرصاص. و التفاعل كما يلي: $Na_2S + (CH3COO)_2Pb \rightarrow PbS\downarrow + 2CH_3COONa$	راسب أسود من كبريتيد الرصاص
• محلول العينة + ٣ـ٢ قطرات من نتروبروسيد الصوديوم $NaOH$ قطرات من ٣ـ٢ + $Na_2[Fe(CN)_5NO]$ $Na_2S + Na_2[Fe(CN)_5NO] \rightarrow Na_4[Fe(CN)_5NOS]$	يتلون المحلول بالون الأرجواني لتكون كبريتيد نتروبروسيد الصوديوم

الجدول (٧ ١ ـ ٥): التجارب التأكيدية لآنيونات المجموعة الأولى: الثيوكبريتات $S_2O_3^{2-}$

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + محلول نترات الفضة $AgNO_3$ $Na_2S_2O_3 + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2S_2O_3\downarrow + 2NaNO_3$ $H2O + Ag_2S_2O_3 \rightarrow Ag_2S + H_2SO_4$□	راسب أبيض يتغير إلى البني ثم الأسود بزيادة الكاشف
• محلول العينة + محلول خلات الرصاص $(CH_3COO)_2Pb$ $Na_2S_2O + (CH3COO)_2Pb \rightarrow PbS_2O_3 + 2CH_3COONa$ $PbS2O3 + H2O \rightarrow PbS + H_2SO_4$	يتكون راسب أبيض من ثيوكبريتات الرصاص يتحول لونه إلى أسود عند الغليان
• محلول العينة + محلول اليود $2Na_2S_2O + I_2 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI$□	يزول لون اليود

الجدول (٧ ـ ١ ـ ٦): التجارب التأكيدية لآنيونات المجموعة الأولى: النتريت NO_2^-

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + كبريتات الحديدوز $FeSO_4$ + حمض الكبريتيك المخفف $2NaNO_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2HNO_2 + Na_2SO_4$ $3HNO_2 \rightarrow 2NO + HNO_3 + H_2O$ $NO \rightarrow [FeNO]SO_4 + FeSO_4$	يتلون المحلول باللون البني
• محلول العينة + يوديد البوتاسيوم KI+ H_2SO_4	لون بني يتحول إلى أزرق بإضافة النشا
• محلول العينة + قطرات من محلول مخفف لبرمنجنات البوتاسيوم المحمضة بحمض الكبريتيك المخفف $2KMnO_4+3H_2SO_4 + 5NaNO_2 \rightarrow K_2SO_4+2MnSO_4 + 5NaNO_3+3H_2O$□	يزول لون البرمنجنات

التجربة رقم (٢): الكشف على آنيونات المجموعة الفرعية (أ.٢) Cl-, Br-, I-, NO3-

١. الخلفية النظرية:

يطلق على آنيونات هذه المجموعة: مجموعة حامض الكبريتيك المركز وتشمل هذه المجموعة: الكلوريدات، البروميدات، اليوديدات و النترات، جميع الكلوريدات ذائبة في الماء عدا كلوريدات الفضة، الزئبقور، النحاسوز، كلوريد الرصاص يذوب في الماء الساخن.

البروميدات تضاهي الكلوريدات في ذوبانيتها، اليوديدات، تضاهي الكلوريدات و البروميدات في ذوبانيتها بالرغم من ذلك فإن يوديد البزموث غير لا يذوب.

جميع النترات تذوب في الماء عدا بعض النترات القاعدية.

كاشف المجموعة: حمض الكبريتيك المركز.

٢. السلامة

١. راجع قواعد السلامة العامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

طريقة العمل: ضع في أنبوبة الاختبار حوالي ٠,٥ جرام من العينة الصلبة و أضف حمض الكبريتيك المركز ثم سخن المحلول. فإذا كانت العينة من المجموعة الثانية، يتصاعد غاز يمكن التعرف عليه و على الأيون السالب من خلال الجدول (٧ ـ ٢ ـ ١). التجارب التأكيدية موضحة في الجدول (٧ ـ ٢ ـ ٢).

☠ ينتج عن بعض التجارب خلال الكشف عن الآنيونات أبخرة سامة جدا (اليود، البروم، أكاسيد النتروجين، الخ...) و لذلك يجب إجراء كل التجارب في خزانة الغازات.

الجدول (٧ ـ ٢ ـ ١): الجدول الكشف عن آنيونات المجموعة الثانية

التجربة و المشاهدة		الاستنتاج
الكلوريد Cl^- • محلول العينة الصلبة + H_2SO_4 (مركز) (و يكشف عن غاز كلوريد الهيدروجين و ذلك بتعرض ساق زجاجية مبللة بالنشادر) $NaCl + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HCl\uparrow$□	تصاعد غاز $HCl\uparrow$ عديم اللون و يميز برائحته النافذة	احتمال وجود Cl^- (انظر إلى التجارب التأكيدية في الخلف)
البروميد Br^- • محلول العينة الصلبة + H_2SO_4 (مركز) + ورقة مبللة بالنشا $2NaBr + H_2SO_4 \rightarrow 2HBr + Na_2SO_4$ $2HBr + H_2SO_4 \rightarrow Br_2\uparrow + SO_2 + 2H_2O$□	يتصاعد بخار بروميد الهيدروجين برتقالي اللون و عند إضافة قليل من ثاني أكسيد المنجنيز يزداد تصاعده و يتحولون الورقة إلى الأزرق	احتمال وجود Br^- (انظر إلى التجارب التأكيدية في الخلف)
اليوديد I^- • محلول العينة الصلبة + H_2SO_4 (مركز) + ورقة مبللة بالنشا $2NaI + H_2SO_4 \rightarrow 2HI\uparrow + Na_2SO_4$ $2HI + H_2SO_4 \rightarrow {}_I2\uparrow + SO_2 + 2H_2O$□	تتصاعد أبخرة من اليود بنفسجية اللون مختلطة بقليل من يوديد الهيدروجين و تحول هذه الأبخرة لون الورقة المبللة بالنشا إلى اللون الأزرق	احتمال وجود I^- (انظر إلى التجارب التأكيدية في الخلف)
النترات NO_3^- • محلول العينة الصلبة + H_2SO_4 (مركز) $NaNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow HNO_3 + NaHSO_4$ $4HNO_3 \rightarrow 4NO_2\uparrow + O_2 + 2H_2O$ $4HNO_3 + Cu \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$□	تتصاعد أبخرة بنية من ثنائي أكسيد النيتروجين تزداد تصاعد الأبخرة بإضافة قطع من النحاس و يتحول لون المحلول إلى أزرق	احتمال وجود NO_3^- (انظر إلى التجارب التأكيدية في الخلف)

الجدول (٧ ـ ٢ ـ ٢): التجارب التأكيدية لأيونات المجموعة الثانية

التجربة	المشاهدة
الكلوريد Cl^- • محلول العينة + محلول نترات الفضة $NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + NaNO_3$ $AgCl + 2NH_4OH \rightarrow [Ag(NH_3)_2]Cl + H_2O$□ • محلول العينة + محلول خلات الرصاص $(CH_3COO)_2Pb$ $2NaCl + (CH_3COO)_2Pb \rightarrow 2CH_3COONa + PbCl_2\downarrow$□	يترسب $AgCl\downarrow$ ذو اللون الأبيض و يتحول لونه إلى بنفسجي عند تعرضه إلى الضوء كما أن كلوريد الفضة لا يذوب في حمض النتريك المخفف لكن يذوب في محلولNH_4OH] راسب كلوريد الرصاص $PbCl_2$ أبيض اللون يذوب في الماء الساخن و يترسب بالتبريد
البروميد Br^- • محلول العينة + محلول نترات الفضة $AgNO_3$ $NaBr + AgNO_3 \rightarrow AgBr\downarrow + NaNO_3$□ • محلول العينة + ٢ ـ ٤ قطرات من ماء الكلور $2NaBr + Cl_2 \rightarrow 2NaCl + Br_2$□	يتكون راسب بروميد الفضة الأصفر اللون يذوب جزئيا في محلول هيدروكسيد الأمونيوم يتلون المحلول باللون الأحمر البرتقالي لانفصال البروم.
اليوديد I^- • محلول العينة + محلول نترات الفضة $AgNO_3$ $KI + AgNO_3 \rightarrow AgI + KNO_3$□	يترسب يوديد الفضة AgI ذو اللون الأصفر و لا يذوب في حمض النتريك أو هيدروكسيد الأمونيوم المركز و لكنه يذوب في سيانيد البوتاسيوم
• محلول العينة + محلول كبريتات النحاس $CuSO_4$ $4KI + 2CuSO_4 \rightarrow K_2SO_4 + Cu_2I_2\downarrow + I_2$□	يتكون راسب بني (يوديد النحاسوز: Cu_2I_2)
النترات NO_3^- • تجربة الحلقة السمراء Black-ring test محلول العينة + محلول كبريتات الحديدوز + حمض الكبريتيك المركز على جدران الأنبوبة (ببطء و احتراس (أحذر!) حتى يكون الحمض طبقة أسفل المحلول $2NaNO_3 + 6FeSO_4 + 4H_2SO_4 \rightarrow 3Fe_2(SO_4)_3 + 2NO + 4H_2O + Na_2SO_4$ $FeSO_4 + NO \rightarrow (FeNO)SO_4\downarrow$□	تتكون حلقة سمراء عند السطح نتيجة تكون نتروزيل كبريتات الحديدوز $(FeNO)SO_4$

التجربة رقم (٣): الكشف على آنيونات ا لمجموعة (ب) PO43-, B4O72-, SO42-

١. مقدمة:

يطلق على آنيونات هذه المجموعة: مجموعة الترسيب تشمل هذه المجموعة على الأملاح التي لا تتأثر بأي من الأحماض المعروفة تشمل هذه الآنيونات: الكبريتات، الفوسفات، البورات، الزرنيخات، و الزرنيخيت.

جميع الكبريتات ذائبة في الماء عدا تلك التي لايونات المعادن ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم، السترونشيوم، الباريوم والرصاص معظم الفوسفات غير ذائبة في الماء عدا تلك التي للأمونيوم والمعادن القلوية.

بورات الأمونيوم والمعادن القلوية تذوب في الماء بينما البورات الأخرى تذوب بشكل قليل جداً في الماء.

كاشف المجموعة: كلوريد الباريوم و نترات الفضة.

٢. الآمان و السلامة:

١. راجع قواعد السلامة العامة.

٢. الزي المعملي: بالطو، أحذية واقية، نظارات، قفازات.

٣. خطوات التجربة:

أولا: محلول العينة + محلول كلوريد الباريوم المركز $BaCl_2$.

المشاهدة: هناك ثلاثة حالات كما هو موضح في الجدول (٧ ـ ٣ ـ ١).

> ☠ ينتج عن بعض التجارب خلال الكشف عن الآنيونات أبخرة سامة جدا (اليود، البروم، أكاسيد النتروجين، الخ...) و لذلك يجب إجراء كل التجارب في خزانة الغازات.

الجدول (٧ ـ ٣ ـ ١): إضافة محلول كلوريد الباريوم المركز

المشاهدة	الاستنتاج
• راسب أبيض يذوب في الأحماض المخففة HCl و HNO_3	وجود أيون الفوسفات PO_4^{3-}
• راسب أبيض يذوب في زيادة من الكاشف و الأحماض المخففة و محاليل أملاح الأمونيا	وجود أيونات البورات $B_4O_7^{2-}$
• راسب أبيض (محلول العينة متعادل) لا يذوب في الأحماض المخففة و حمض الخليك	وجود أيون الكبريتات SO_4^{2-}

ثانيا: محلول الملح + محلول مركز من نترات الفضة $AgNO_3$.

المشاهدة: هناك ثلاثة حالات (الجدول ٧ ـ ٣ ـ ٢):

الجدول (٧ ـ ٣ ـ ٢): محلول مركز من نترات الفضة

المشاهدة	الاستنتاج
• راسب أصفر يذوب في حمض النتريك المخفف HNO_3 و محلول الأمونيا المخفف	وجود أيون الفوسفات PO_4^{3-}
• راسب أبيض يتحول إلى بني ثم أسود عند الغليان $B_4O_7^{2-}$ أو راسب بني بدون غليان في حالة تراكيز صغيرة من البورات	وجود أيون البورات $B_4O_7^{2-}$
• راسب أبيض (في حالة محاليل مركزة بالكبريتات) يذوب في الأحماض المخففة	وجود أيون الكبريتات SO_4^{2-}

ثالثا: التجارب التأكيدية. التجارب التأكيدية لأنيونات المجموعة (ب) موضحة في الجداول (٧ ـ ٣ ـ ٣ حتى ٧ ـ ٣ ـ ٥).

الجدول (٧ ـ ٣ ـ ٣): التجارب التأكيدية للكبريتات SO_4^{2-}

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + محلول خلات الرصاص $(CH_3COO)_2Pb$ $Na_2SO_4 + (CH_3COO)_2Pb \rightarrow PbSO_4\downarrow + 2CH_3COONa$ $PbSO_4 + CH_3COONH_4 \rightarrow (CH_3COO)_2Pb + (NH_4)_2SO_4$	راسب أبيض يذوب في محلول هيدروكسيد الصوديوم أو خلات الأمونيوم
• محلول العينة +نترات الزئبقوز	راسب أصفر

الجدول (٧ ـ ٣ ـ ٤): التجارب التأكيدية للفوسفات PO_4^{3-}

التجربة	المشاهدة
• حلول العينة + نترات الفضة $AgNO_3$	راسب أصفر اللون
• حلول العينة + محلول كلوريد الحديديك $FeCl_3$ $NaHPO_4 + FeCl_3 \rightarrow FePO_4\downarrow + 2NaCl + HCl$	يترسب فوسفات الحديديك $FePO_4$ ذو اللون الأبيض المصفر الذي يذوب في الأحماض المعدنية المخففة

الجدول (٧ ـ ٣ ـ ٥): التجارب التأكيدية للبورات $B_4O_7^{2-}$

التجربة	المشاهدة
• محلول العينة + حمض الكبريتيك المركز + تسخين	تصاعد غاز أبيض
• محلول العينة (في حالة تراكيز عالية من البورات) + حمض الهيدروكلوريك المركز	راسب بلوري أبيض

امتحان ذاتي

أجب على الأسئلة التالية ثم تأكد من صحة إجابتك بالنظر للحل النموذجي.

١. أكتب الصيغة الكيميائية للآنيونات التالية:

الآنيون	الصيغة الكيميائية
الكربونات	
البكربونات	
الكبريتيت	
الثيوكبريتيت	
الكبريتيد	
الهيبوكلورات	
السيانيد	
السيانات	
الثيوسيانات	
النتريت	
النترات	

إجابة الامتحان الذاتي

الآنيون	الصيغة الكيميائية
الكربونات	CO_3^{2-}
البكربونات	HCO_3^-
الكبريتيت	SO_3^{2-}
الثيوكبريتيت	$S_2O_3^{2-}$
الكبريتيد	S^{2-}
الهيبوكلورات	$HClO^-$
السيانيد	CN^-
السيانات	CNO^-
الثيوسيانات	SCN^-
النتريت	NO_2^-
النترات	NO_3^-

ملحق: الجدول الدوري للعناصر الكيميائية

الجدول الدوري للعناصر الكيميائية

THE MODERN PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

Metals | Semimetals | Non-metals

Atomic number العدد الذري: 11
Chemical symbol رمز العنصر: Na
Atomic weight الوزن الذري: 22.99

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
1 H 1.01																	2 He 4.00
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 98.91	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 *La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.21	76 Os 190.20	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.20	83 Bi 208.98	84 Po 208.98	85 At 209.99	86 Rn 222.02
87 Fr 223.02	88 Ra 226.03	89 **Ac 227.03	104 Unq 261.11	105 Unp 262.11	106 Unh 162.12	107 Uns 262.12										Halogens	Noble Gases
Alkaline Metals (Except	Alkaline Earth Metals																

Transition metals (IIIB–IIB)

* 58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm 144.91	62 Sm 150.36	63 Eu 151.97	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.5	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97	Lanthanides
** 90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu 244.06	95 Am 243.06	96 Cm 247.07	97 Bk 247.07	98 Cf 242.06	99 Es 252.08	100 Fm 257.10	101 Md 258.10	102 No 259.10	103 Lr 260.11	Actinides

Alkaline metals : الفلزات القلوية - Alkaline earth metals : الفلزات القلوية الأرضية - Transition metals : الفلزات الإنتقالية - Noble gases : الغازات الخاملة - Halogens : الهالوجينات

Metals : الفلزات - Metalloids or semimetals : الشبه الفلزات - Non-metals : الا فلزات

المراجع:

١. إبراهيم زامل الزامل ، محمد عبد العزيز الحجاجي ، سعد عبد العزيز الطمرة و محمود محمد بان: الكيمياء التحليلية (التحليل الحجمي و التحليل الوزني) ، الطبعة الثالثة ، دار الخريجي للنشر و التوزيع ، ١٤١٩ هـ.

٢. عواض الحصادي ، سهل النقاش ، بدر الدين ابراهيم أحمد ، عبد المنعم عبدالرؤوف ، محمد المختار عبدالعزيز و مرعي العجيلي: الأسس النظرية و العملية للتحليل النوعي ، الطبعة الأولى ، جامعة قار يونس، بنغازي ، ١٩٩٤ م .

3. G.D Christian: Analytical Chemistry, 5th edition, John Wiley &Sons, Inc, International edition, 1994.

4. G.H. Jeffrey, J. Bassett, J. Mendham, R.C. Denney: Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis, 5th edition, Longman Scientific & Technical, 1989.

5. D.A. Skoog, D.M. West and F.J. Holler, Analytical Chemistry – An Introduction, Saunders College Publishing 6th edition, International edition, 1994.

المحتويات